

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transportes II Cohorte

Metodología para el cálculo de drenajes transversales tipo alcantarilla en proyectos viales

*Trabajo de titulación previo a la obtención del título
de Magíster en Ingeniería en Vialidad y Transportes.
Artículo Académico.*

DIRECTOR:

Mgs. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco, PhD
C.I: 030150047-6

AUTOR:

Ing. Erwin Javier Oyola Estrada
C.I: 070201973-8

CUENCA - ECUADOR

2019

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación, fue proponer una metodología para la estimación de drenajes transversales en carreteras en su etapa de consultoría, mediante la utilización de aplicaciones informáticas como Google Earth, Global Mapper, e Hydraflow Express; en conjunto con programas analíticos como las tablas del INAMHI. Utilizando sus resultados integrales, y correlacionándolos de manera sistemática con el objetivo de determinar: el caudal, y el tipo de drenaje transversal que intersectará la carretera, es decir una alcantarilla o un puente. Este método será de gran utilidad a los proyectos de carreteras, que en su etapa de pre-factibilidad, no tengan información hidrometeorológica del sitio, se propuso un método práctico y adecuado a ser utilizado en estas condiciones temporales con la validez necesaria y suficiente aproximación.

La metodología propuesta incluye cronológicamente: la observación directa y toma datos en campo, comprendiendo aforos de escorrentías para la obtención del caudal mínimo, la modelación hidráulica respectiva con el uso de software, y la validación y comprobación de los resultados para el tipo de alcantarilla modelada. Los resultados fueron satisfactorios en la etapa de validación, es decir al ingresar el caudal calculado de la microcuenca y al aplicar el software Hydraflow Express. Correlaciones válidas en términos dimensionales fueron logradas para un número significativo de casos de prueba. Finalmente, y debido a dichos resultados de correlación dimensional encontrados con el software en mención para los casos estudiados, se concluye que la metodología propuesta es válida para la determinación del tipo de drenaje transversal tipo alcantarilla.

PALABRAS CLAVES:

ICivil, drenaje transversal, alcantarilla, Google Earth, Global Mapper, Hydraflow Express, INAMHI



ABSTRACT

The main objective of this Research was the proposal of a comprehensive methodology to estimate transverse drainages for roads at the consultancy stage, by using freely available software such as: Google Earth, Global Mapper, and Hydraflow Express, along with national weather databases manage by INAMHI. Working with the results from these software's, and correlating them accordingly in order to obtain flow, and type of transverse drainage. This method will be very useful for road projects, which in their pre-feasibility stage, do not have hydrometeorological information of the site, a practical and suitable method to be used in these temporary conditions with the necessary validity and sufficient approximation was proposed.

The proposed methodology includes direct field observations, and measurements for runoff data, in order to obtain minimum flow; the actual hydraulic modeling; and the validation of the results for the chosen transverse drainage type. Valid correlations, in terms of transverse drainage dimensions, and geometry were found for a significant number of case studies; therefore conclusions were drawn stating that the proposed methodology is valid to determine the correct transverse drainage type for this season, were weather databases are limited.

KEYWORDS

ICivil, transverse drainage, culvert, Google Earth, Global Mapper, Hydraflow Express, INAMHI, Runoff, Flow.



ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE.....	4
Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional.....	6
Cláusula de Propiedad Intelectual	7
1. INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	8
Objetivo General:	8
Objetivos Específicos:	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1 Determinación del área de la microcuenca de aportación, mediante Google Earth	9
2.2 Determinación del área de la microcuenca de aportación, mediante Google Earth	9
2.3 Determinación de áreas en la microcuenca de aportación.....	9
2.4 Determinación de la longitud y la pendiente del cauce de la microcuenca de aportación ..	10
2.5 Determinación del tipo de proyecto u obra y periodo de retorno (años)	10
2.6 Determinación del tiempo de concentración (Tc) y coeficiente de uniformidad (K)	10
2.7 Determinación de las intensidades máximas en la estación para periodos de retornos entre 50 y 100 años y tiempos de concentración de 26.12 min	11
2.8 Determinación del caudal Q en m³/s.....	12
2.9 Modelación mediante Hydraflow Express	12
3. RESULTADOS	14
4. DISCUSIÓN	14
5. CONCLUSIONES	15
6. RECOMENDACIONES.....	15
BIBLIOGRAFÍA	16
ANEXOS	17
Anexo 01. Certificado de ponencia del Congreso de Ingeniería PANAM 2018	17
Anexo 02. Diapositivas de la presentación del Congreso de Ingeniería PANAM 2018.....	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Intensidades máximas en 24 horas estación Pasaje	11
Tabla 02. Ecuaciones representativas de las intensidades de la estación	11
Tabla 03. Coeficientes de escorrentía método racional.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Ubicación y estimación general del área	8
Figura 02. Áreas de aportación de la microcuenca	9
Figura 03. Longitud y la pendiente del cauce de la microcuenca de aportación	10
Figura 04. Ingreso de datos al Hydraflow Express.....	13
Figura 05. Modelación de los datos en Hydraflow Express	14

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Erwin Javier Oyola Estrada, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Metodología para el cálculo de drenajes transversales tipo alcantarilla en proyectos viales”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, enero del 2019



Erwin Javier Oyola Estrada
C.I: 0702019738

Cláusula de Propiedad Intelectual

Erwin Javier Oyola Estrada, autor del trabajo de titulación “**Metodología para el cálculo de drenajes transversales tipo alcantarilla en proyectos viales**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, enero del 2019



Erwin Javier Oyola Estrada
C.I: 0702019738

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los inconvenientes en la fase de pre factibilidad, en la elaboración de proyectos de carreteras; es identificar las posibles rutas de diseño, las mismas que al estudiarlas de manera aéreas o terrestres, muchas veces no muestran escorrentías significativas, que nos conlleven a estimar o pronosticar un caudal de diseño apropiado para diseñar el drenaje conveniente para proteger la vía y permitir el paso adecuado de estos caudales. Si se emplea esta metodología se evitarán pérdidas económicas, por la interrupción de la vía y costosas reparaciones (Gencel, 2013), por no haber prevenido estos sucesos; esto regularmente acontece en invierno cuando el problema se manifiesta de manera significativa, afectando negativamente la infraestructura vial, si los drenajes no fueron correctamente diseñados.

El objetivo general de la investigación es proponer un procedimiento para el estudio hidrológico para proyectos viales, y determinar el tipo de drenaje transversal más adecuado; mediante aplicaciones informáticas como: Google Earth, Global Mapper, Hydraflow Express, programas analíticos y bases de datos climatológicas obtenidas del El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); Información y software que permite predecir los eventos hidrometeorológicos que puedan afectar el correcto funcionamiento de estas obras viales.

Objetivos específicos:

Revisar bibliográficamente en libros, tesis y revistas científicas sobre la problemática presentada.

Observar en campo de forma directa el problema presentado, para la recolección de datos.

Analizar, estimar y proponer el drenaje adecuado en función a los resultados obtenidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Se estudió la descarga del caudal que se registra a un costado de la vía que conduce al poblado de Palenque en la Ciudad de Pasaje, El Oro, Ecuador, ubicación: 625048, 9628140 (para el punto de cierre o punto de la descarga)



Figura 01. Ubicación y estimación general del área

2.1 Determinación del área de la microcuenca de aportación mediante, Google Earth.

Utilizando la herramienta: “agregar polígono” se trazó el perímetro de la cuenca estudiada, la opción: “propiedades” da como resultado 5.57 Kilómetros cuadrados. Dicho perímetro o “Polígono” se guardó como archivo kmz. (MICROCUEENCA 01.kmz)

2.2 Determinación del área de la microcuenca de aportación, mediante Global Mapper (Paoli & Malinow, 2010).

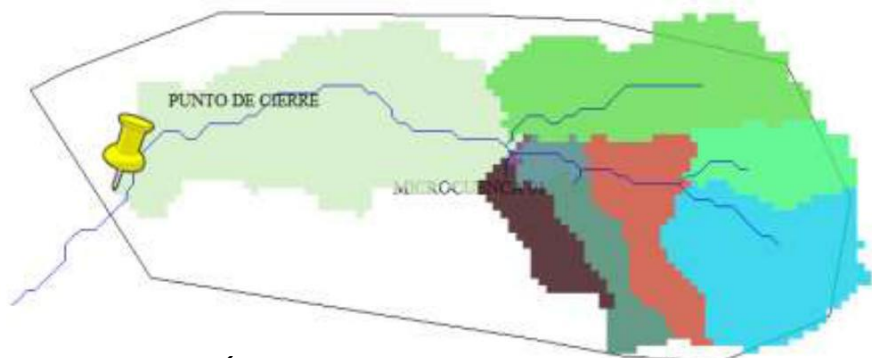


Figura 02. Áreas de aportación de la microcuenca

En el software Global Mapper se trabajó con el polígono antes determinado (archivo MICROCUENCA 01.kmz) En la pestaña “Tool”, que contiene un menú desplegable, se escogió “configure”, luego “projection”, con el objetivo de configurar y georeferenciar la zona delimitada con un datum de coordenadas UTM (Universal Trasnverse Mercator). Posteriormente la opción “connect to online data” permite la conexión a una fuente de datos determinada, por ejemplo: ASTER GDEM v2, con el objetivo de visibilizar las elevaciones correspondientes para la zona de estudio. Finalmente, es posible crear y visualizar la microcuenca con sus respectivas áreas tributarias mediante la opción “Create watershed”.

2.3 Determinación de áreas en la microcuenca de aportación.

La determinación de áreas de la microcuenca se realizó mediante la opción “feature info tool”, la cual permite la visualización numérica (en Km^2) de las áreas tributarias. Para el caso en estudio las áreas de aportación a la microcuenca, que son un total de nueve, suman un área total de 3.70 Km^2 o 370.19 Hras.

2.4 Determinación de la longitud y la pendiente del cauce de la microcuenca de aportación.

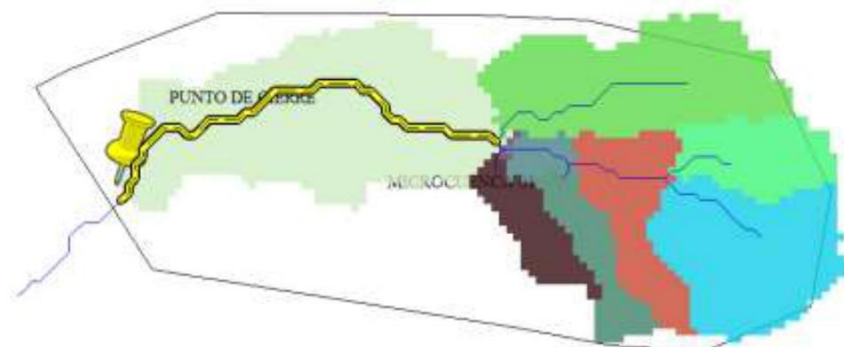


Figura 03. Longitud y la pendiente del cauce de la microcuenca de aportación.

La pendiente del cauce de la microcuenca se obtuvo mediante la opción “feature info tool”, escogiendo el cauce principal, obteniendo así los datos del cauce en Km. Para el caso de estudio la longitud del cauce es de 2.48 Km, con una elevación aguas arriba de 71.86 msnm y 23.19 msnm aguas abajo, lo cual da una diferencia de cotas de 48.68 metros, con lo cual es posible el cálculo de la pendiente $S = 0.0197 \text{ m/m}$ o $S = 1.97 \%$.

2.5 Determinación del tipo de proyecto u obra y periodo de retorno (años)

Se considera un periodo de retorno entre 25 y 100 años, dependiendo de la importancia de la vía y el fallo de drenaje debido a una crecida producida por la intensidad de la lluvia. El periodo de retorno podría considerarse como un tiempo hipotético entre dos sucesos difíciles de comprobar, pero con efectos catastróficos (Álvarez & Calle, 2013)

2.6 Determinación del tiempo de concentración (T_c) y coeficiente de uniformidad (K)

LA determinación del tiempo de concentración se la realizó con la metodología de Kirpich (Ibañez et al, 2010) como sigue:

$$T_c = 0.000323 [L^{0.77} / S^{0.385}] \quad \text{ec. 1}$$

Dónde:

T_c : tiempo de concentración en horas

L : longitud del cauce en metros

S : pendiente del cauce en m/m

$$T_c = 0.000323 [2480^{0.77} / 0.01965^{0.385}] = 0.602 \text{ hora} = 36.12 \text{ min}$$

$$K = 1 + [(T_c^{1,25}) / (T_c^{1,25} + 14)] \quad \text{ec.2}$$

$$K = 1 + [(0.602^{1,25}) / (0.602^{1,25} + 14)] = 1.03649$$

2.7 Determinación de las intensidades máximas en la estación para periodos de retornos entre 50 y 100 años y tiempos de concentración de 36.12 min.

Tabla 01. Intensidades máximas en 24 horas estación Pasaje (Rodríguez, 1999) INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24 HORAS DETERMINADAS CON INFORMACIÓN PLUVIOGRAFICA PERIODO: 1964 - 1968									
CÓDIGO	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD	Tr (años)				
		LATITUD	LONGITUD	(mts)	5	10	25	50	100
M-040	Pasaje	03°19'47''S	79°46'55'' W	40	3.59	4.09	4.66	5.06	5.43

Tabla 02. Ecuaciones representativas de las intensidades de la estación Pasaje (Rodríguez, 1999)			
INTENSIDADES MÁXIMAS ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS			
CÓDIGO	ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
M-040	PASAJE	5 min < 120 min	$I_{TR} = 46.711 t^{-0.3539} I_{dTR}$
		120 min < 1440 min	$I_{TR} = 490.46 t^{-0.8462} I_{dTR}$

Los anuarios hidrológicos de las estaciones del INAMHI constituyen la fuente más amplia de datos de este tipo, el INAMHI presenta periódicamente la información pluviografica y las ecuaciones representativas de éstas (Castillo & Morales, 2012).

Para la modelación es necesario conocer:

1. La intensidad diaria para cada periodo de retorno I_{dTR} , registrado por la estación “Pasaje”, Código M-040 de las tablas del INAMHI (Rodríguez, 1999).
2. Las ecuaciones representativas de las intensidades máximas de la estación pluviografica “Pasaje”, Código M-040 (Rodríguez, 1999).

3. Modelación matemática, remplazando los valores de las intensidades y de las duraciones:

Para $t = 36.12$ min y un de 50 años, la intensidad es de:

$$= 46.711 t^{-0.3539} I_{dTR} = 46.711 \times 36.12^{-0.3539} \times 5.06 = 66.42 \text{ mm/hora}$$

Para $t = 36.12$ min y un de 100 años, la intensidad es de:

$$= 46.711 t^{-0.3539} I_{dTR} = 46.711 \times 36.12^{-0.3539} \times 5.43 = 71.27 \text{ mm/hora}$$

2.8 Determinación del caudal Q en m³/s

Para la determinación del caudal se utilizó el método racional modificado de Témez (García, 2017), como sigue:

$$Q = [(CIA)/3,60].K \quad \text{ec.3}$$

Dónde:

Q= Descarga máxima de diseño (m³/s)

C= Coeficiente de escorrentía (de acuerdo a la tabla 03)

Tabla 03. Coeficientes de escorrentía método racional (MTC, 2013)

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15

I= Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A= Área de la cuenca en (Km²)

K= Coeficiente de uniformidad

$$Q = [(0,50 \times 71,27 \text{ mm/h} \times 3,70 \text{ Km}^2)/3,60]. 1,03649$$

$$Q = (36,65 \text{ m}^3/\text{s}) \times 1,03649 = 37,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.9 Modelación mediante Hydraflow Express

Obtenido el caudal de diseño para una tormenta con una posibilidad de retorno entre 50 y 100 años, también debe conocerse la altura del terraplén de la vía que se va a atravesar (Castillo & Morales, 2012). Así, con toda la información recopilada, se procederá a la validación de los resultados. Mediante el programa Civil 3D.

En la pestaña “Analyze & Desing”, se muestra un menú desplegable, del cual la opción “Launch Express” muestra la aplicación de Hydroflow Express, En la Opción “Culvert”, se procedió a asignar los datos obtenidos en los cálculos anteriores: cota de partida de 23.19 msnm, ancho de drenaje transversal de 20 metros, pendiente de 1.96524%, elevación aguas arriba del tubo.

Figura 04. Ingreso de datos al Hydraflow Express		
Sección	Item	Ingreso de datos
Tubería	Extremo aguas abajo alcantarilla	23.1900
	Longitud (m)	20.0000
	Pendiente (%)	1.9555
	Extremo aguas arriba alcantarilla	23.5831
	Altura (mm)	1500.0
	Forma	Circular
	No. Tubos	4
	Coeficiente de Manning	0.013
	Forma geométrica de la alcantarilla	Concreto circular
	Entrada a la alcantarilla	Borde cuadrado
Terraplén	Cota superior terraplén (rasante)	25.3400
	Ancho carriles (3.65 m) + berma (1.20 m)	9.7000
	Longitud de la cresta vertedero	6.0000
Caudales	Caudal mínimo (m3)	0.0000
	Caudal máximo (m3)	37.99
	Incremento de caudal (m3)	1.0000
	Nivel hidráulico	crítico

Así el programa calcula automáticamente y presenta un valor de 23.5831 msnm, diámetro de las tuberías de 1500 milímetros, en un número de 4 unidades, coeficiente de rugosidad de Manning de 0.013, cota de la plataforma del proyecto de 0.65 metros sobre la altura de la tubería; asumida para un pavimento de: 0.30m de sub-base, 0.30m de base, y una capa de rodadura de 0.05 m , lo cual da una cota de 25.34 msnm, un ancho de la plataforma de la vía de un carril de ida de 3.65 metros y uno de vuelta 3.65 metros más 1.20 de espaldones a cada lado suman un total de 9.7 metros, un ancho de alcantarilla 6 metros que sería su máxima longitud, un caudal Q mínimo de cero considerando que es época de estiaje y Q máximo de 37.99 m³/s.

3. RESULTADOS

Modelación en Hydraflow Express, para la estimación del tipo de drenaje transversal.
(Grigore et al, 2010)

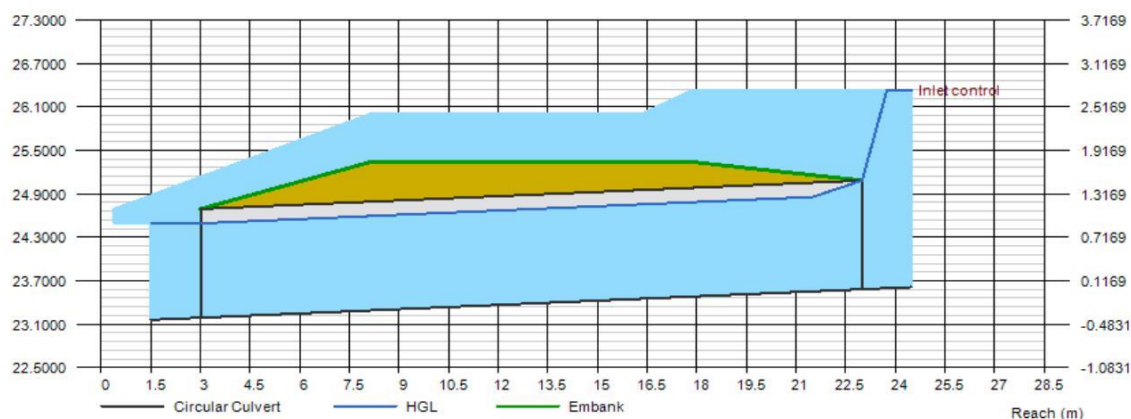


Figura 05. Modelación de los datos en Hydraflow Express.

La modelación muestra que el agua sobrepasa la estructura analizada, muestra también que las cuatro tuberías de 1.5 metros de diámetro no son suficientes y que al aumentar su número se sobrepasa la longitud de 6 metros dejando de ser considerada como alcantarilla; y por lo tanto el drenaje transversal analizado deberá ser considerado como un puente, validando la hipótesis inicial propuesta de que los diseños de alcantarillas realizados en época de verano son sub-dimensionados (Mata et al., 2016)

4. DISCUSIÓN

Además del caso de estudio presentado, se realizó un análisis significativo de 125 alcantarillas existentes en la vía Santa Rosa, Arenillas y Huaquillas de la Provincia de El Oro. (Maza, 2017). Los resultados obtenidos se los puede consultar en el enlace <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11107>, del repositorio digital de la Utmach en el trabajo de pregrado cuyo título es: Evaluación del dimensionamiento de los drenajes transversales de la vía Santa Rosa Huaquillas, mediante la complementación de herramientas computacionales.

En todos los casos analizados, los caudales y escurrimientos calculados con la metodología propuesta demuestran un resultado satisfactorio de las alcantarillas existentes. Para el caso de los puentes también se determinó su validez en el diseño y su correcta potencialidad para la evacuación de los caudales reales.

5. CONCLUSIONES

De la revisión de la información bibliográfica se pudo determinar que el método racional es muy empleado para el cálculo de caudales en zonas donde existe uniformidad de las precipitaciones y el área de las cuencas es menores a 1 Km². Pero cuando nos encontramos con superficies mayores a la enunciada es decir ($1 \text{ Km}^2 \leq \text{Área} \leq 3.000 \text{ Km}^2$) y tiempos de concentración comprendidos ($0,25 \text{ h} \leq T_c \leq 24 \text{ h}$), debemos emplear el método racional modificado de Témez (García, 2017).

La visita en campo permitió observar el problema a ser solucionado, se realizaron aforos manuales del caudal mínimo si existiese, se obtuvieron las coordenadas correspondiente por donde intersecta el cauce a nuestra vía, la pendiente del cauce mediante un levantamiento topográfico, el ancho del mismo y su altura con respecto al terraplén de diseño, se determinó la cobertura vegetal existente para asumir el coeficiente C de escorrentía, datos que fueron necesarios para realizar nuestros cálculos.

En función a los resultados obtenidos en los cálculos y modelaciones con los datos de campo y la información del INAMHI, concluimos que el método es válido para la obtención de caudales y escorrentías para determinar el tipo adecuado de drenaje transversal para las carreteras de proyectos a nivel de pre factibilidad para diferentes periodos de retorno en el Ecuador.

6. RECOMENDACIONES

Es recomendable geo-referenciar en coordenadas UTM (Universal Trasverse Mercator), la zona de trabajo en la aplicación de Google Earth, es muy importante trazar un polígono por la parte superior de las elevaciones de la microcuenca estimada de forma general, lo cual nos permitirá obtener el área de aporte en cualquier forma irregular que esta adquiera.

Existen un numero significativos de programas y métodos para obtener la visualización de las cuencas, pero se recomienda la aplicación del Global Mapper, por la facilidad que nos permite en determinar con precisión las áreas parciales de las microcuenca o microcuencas aportantes, la longitud del cauce, la cota del nivel aguas arriba y la cota del nivel aguas abajo, datos indispensables para determinar la pendiente del mismo y además la determinación del tiempo de concentración T_c .

Finalmente es aconsejable la utilización del software Hydraflow Express ya que con los datos de los pasos anteriores de la metodología propuesta, es posible lograr una modelación hidráulica lo suficientemente adecuada para determinar de manera correcta el tipo de drenaje transversal adecuado, tanto para verificación de alcantarillas y puentes existentes, como para diseños de los mismos para proyectos viales en desarrollo.



BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J., & Calle, G. (2013). *Estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector "La unión" en Santa Isabel – Azuay*. Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>
- Castillo, G., & Morales, D. (2012). *Diseño integral del sistema de drenaje longitudinal y trasversal para la carretera Ñuñurco- Santa Rosa: tramo puente Collay -Sta Rosa de 3.7km*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/770/1/ti896.pdf>
- García, E. (2017). *Cálculo Hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez*. Universidad Politécnica de València. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93382/GARCÍA - Cálculo hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el método Racional modificado....pdf?sequence=1>
- Gencel, Z. (2013). Improved design for highway culverts, XXXIV(3), 77–85. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v34n3/riha07313.pdf>
- Grigore et al. (2010). AutoCAD Civil 3D 2010 with Hydraflow Extension Powerful Software for Drainage Design. *Bulletin UASVM Agriculture*, 66(2), 94–99.
- Ibañez et al. (2010). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (t_c) de una cuenca hidrográfica, 9.
- Mata et al. (2016). *Manual de consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura Vial en Centroamérica*. (Primera Ed). El Salvador.
- Maza, O. (2017). *EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS DRENAJES TRANSVERSALES DE LA VÍA SANTA ROSA HUAQUILLAS, MEDIANTE LA COMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES*. Universidad Técnica de Machala.
- MTC. (2013). *Manual de hidrología, Hidráulica y Drenaje*. (M. E.I.R.L, Ed.) (Primera ed). Lima-Perú. Retrieved from <http://www.editorialmacro>
- Paoli, C. U., & Malinow, G. V. (2010). *Criterios para la determinación de crecidas de diseño en sistemas climaticos cambiantes*. (Primera ed). Santa Fe - Argentina.
- Rodríguez, L. (1999). *Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI 1999.pdf*. Quito-Ecuador.


ANEXOS

ANEXO 01. CERTIFICADO DE PONENCIA DEL CONGRESO DE INGENIERÍA PANAM 2018


		
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
	XX CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, TRANSPORTE Y LOGÍSTICA 2018	
	CERTIFICA QUE: ERWIN JAVIER OYOLA ESTRADA D.I. 702019738	
	Asistió y presentó la ponencia METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE DRENAJES TRANSVERSALES TIPO ALCANTARILLA EN PROYECTOS VIALES.	
en el XX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística que se llevó a cabo en el Hotel Intercontinental de la ciudad de Medellín, en los días 26, 27 y 28 de septiembre de 2018		
	 Iván Sarmiento Ordosgoitia Presidente XX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística 2018	 José Holguín-Veras Presidente del comité internacional XX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística 2018

ANEXO 02. DIAPOSITIVAS DE LA PRESENTACIÓN DEL CONGRESO PANAM 2018

Diapositiva 1



MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN VIALIDAD Y TRANSPORTE


Universidad
de Cuenca

Tema:
**Metodología para el cálculo de drenajes transversales
tipo alcantarilla en proyectos viales.**

Javier Oyola Estrada
Maestrante

Ing. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco. PhD
Docente
Universidad de Cuenca, Ecuador

Diapositiva 2

CASO DE ESTUDIO: ESTUDIO HIDROLÓGICO EN PROYECTOS VIALES

Los estudios hidrológicos son fundamentales para conocer el comportamiento hidrológico de un río, arroyo o de un lago, para así conocer las áreas vulnerables ante eventos hidrometeorológicos que puedan afectar el correcto diseño y funcionamiento de obras de infraestructura vial.



Diapositiva 3

CASO DE ESTUDIO: ESTUDIO HIDROLÓGICO EN PROYECTOS VIALES

Tomaremos como objeto de estudio la descarga del caudal que se registra a un costado de la vía que conduce al poblado de Palenque en la Ciudad de Pasaje, ubicación: 625048, 9628140



Diapositiva 4

CASO DE ESTUDIO: ESTUDIO HIDROLÓGICO EN PROYECTOS VIALES**Determinar el caudal Q en m3/seg, por el método racional**

$$Q = 0.278 \text{ CIA (Área en Km}^2\text{)}$$

$$Q = \text{CIA}/360 \text{ (Área en hectáreas)}$$

Determinar el caudal Q en m3/seg, por el método racional modificado por Témez

$$Q = (0.278 \text{ CIA}) * K \text{ (Área en Km}^2\text{)}$$

$$Q = (\text{CIA}/360) * K \text{ (Área en hectáreas)}$$

Determinar, área y pendiente de la microcuenca de aportación, mediante google heart y globalmapper.

Diapositiva 5

Determinar tipo de proyecto u obra y periodo de retorno (años)
Drenaje Vial: 50 a 100 años

Selección del Coeficiente de escorrentía para el método racional, según las características del suelo.

Tiempos de concentración mediante Kirpich:

$$T_c = 0.000323 \left[\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right]$$

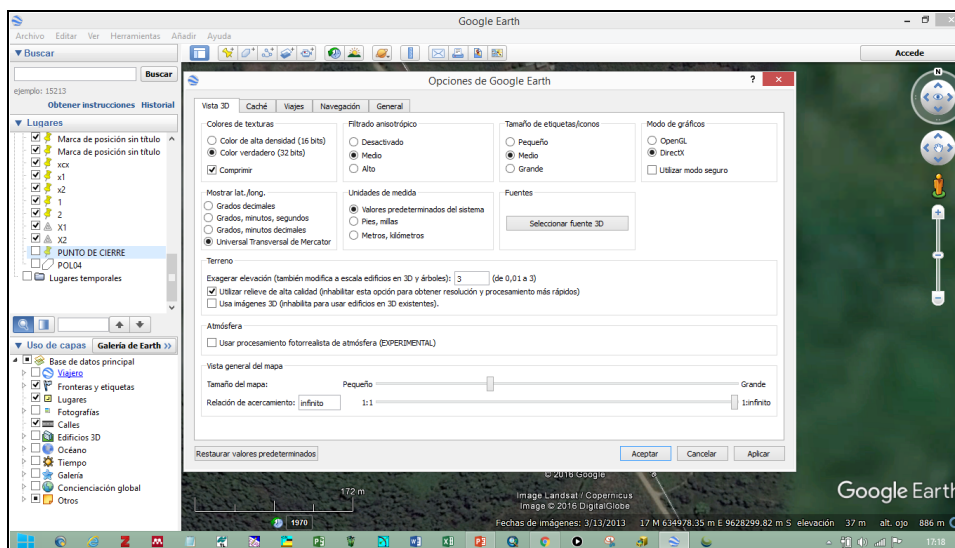
Calcular las intensidades máximas en la estación para periodos de retornos entre 50 y 100 años para los tiempos de concentración determinados.

Diapositiva 6

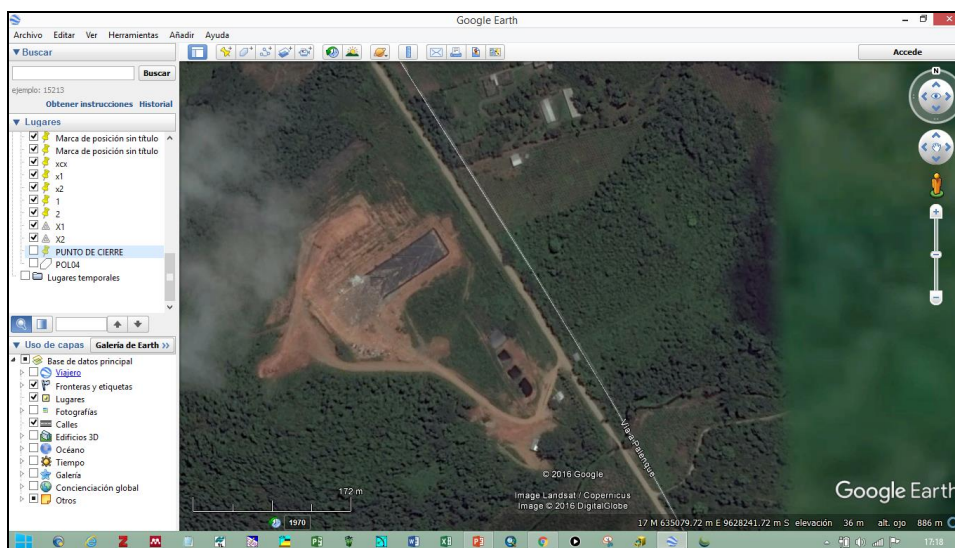
Determinar, área y pendiente de la microcuenca de aportación, mediante google heart y globalmapper.



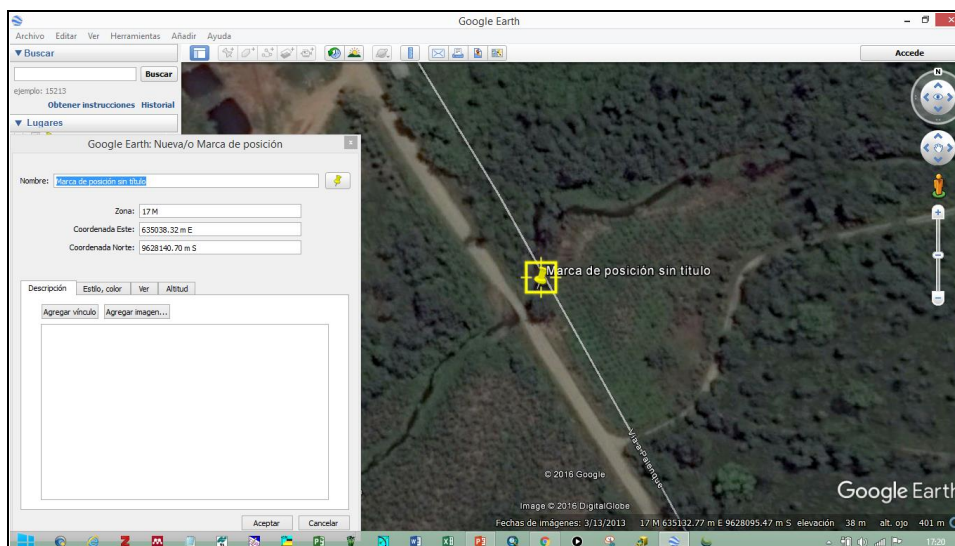
Diapositiva 7



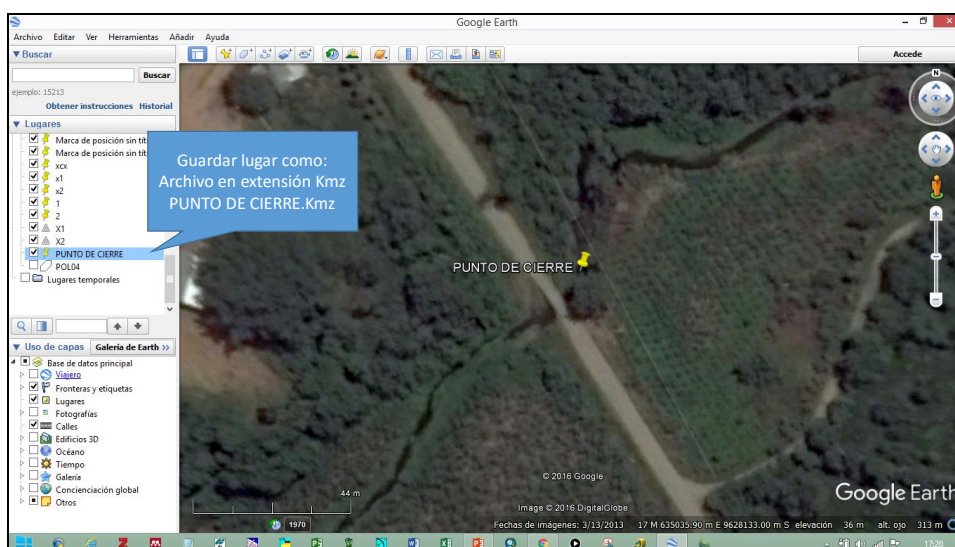
Diapositiva 8



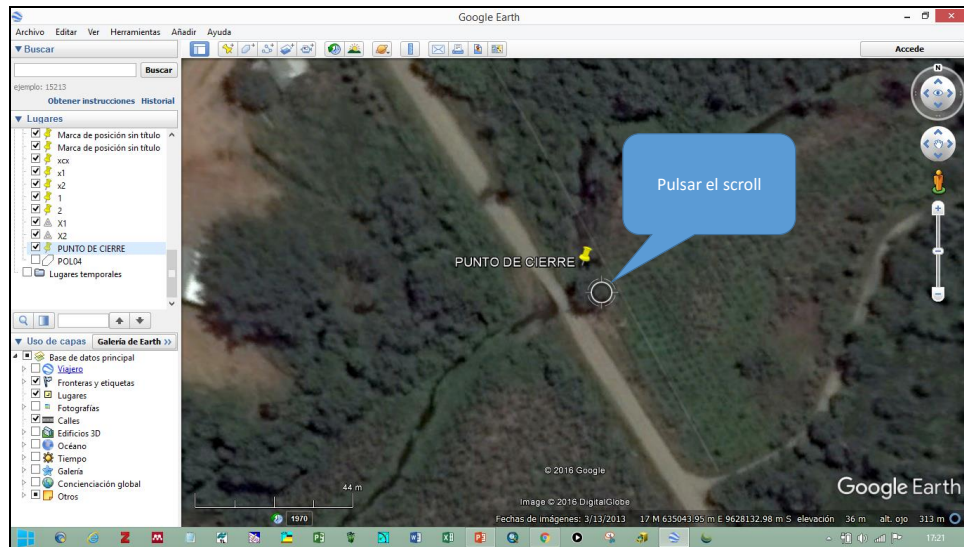
Diapositiva 9



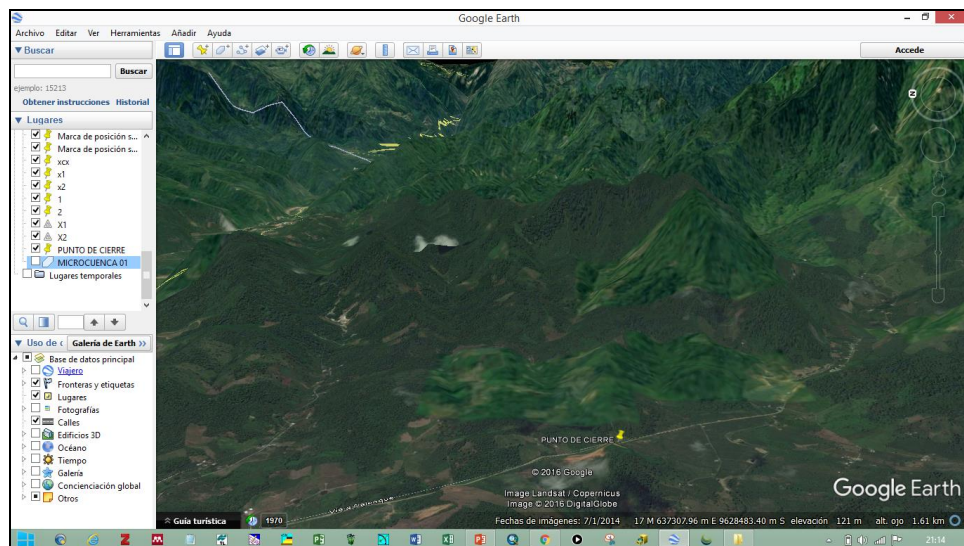
Diapositiva 10



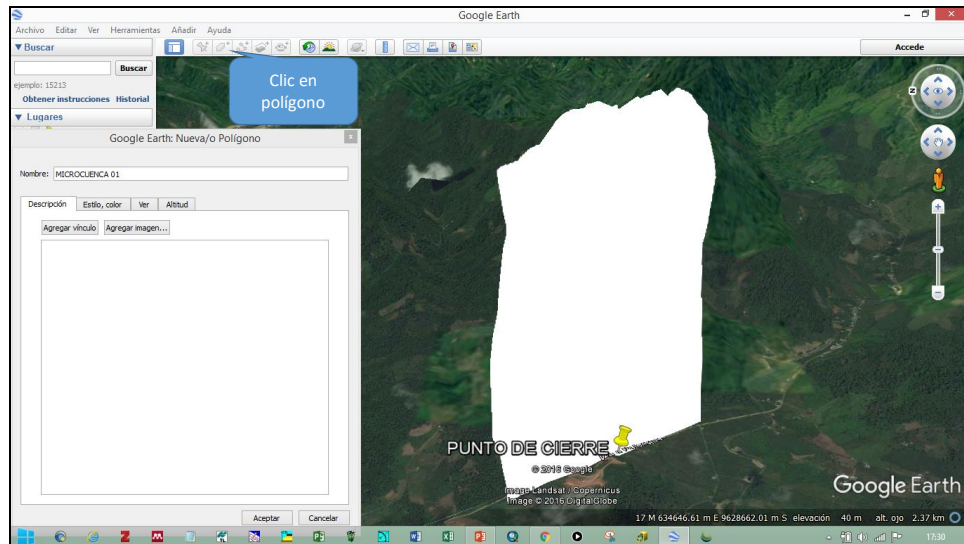
Diapositiva 11



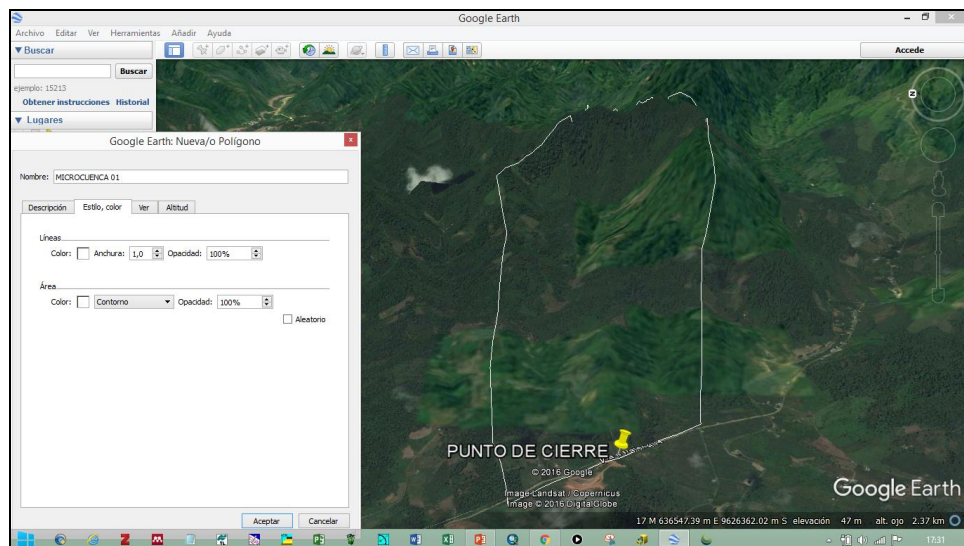
Diapositiva 12



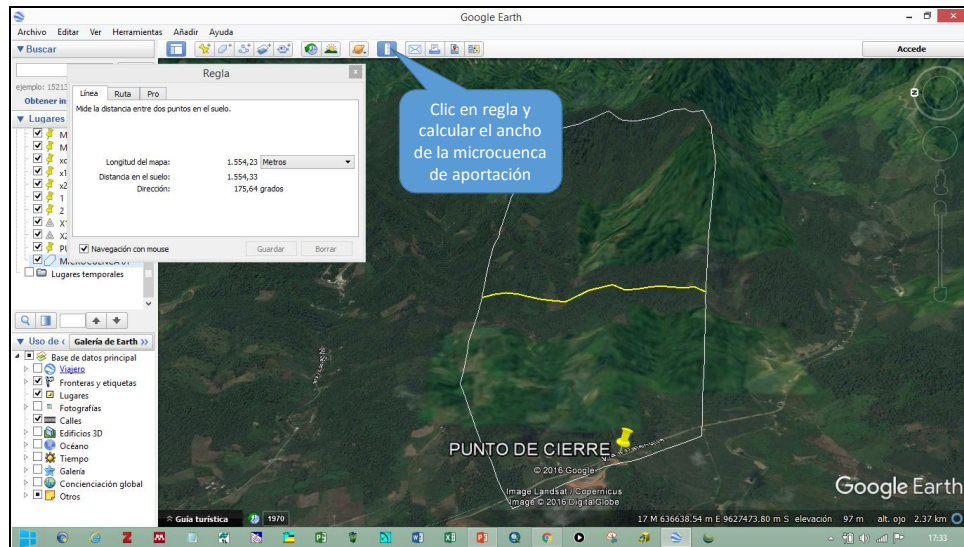
Diapositiva 13



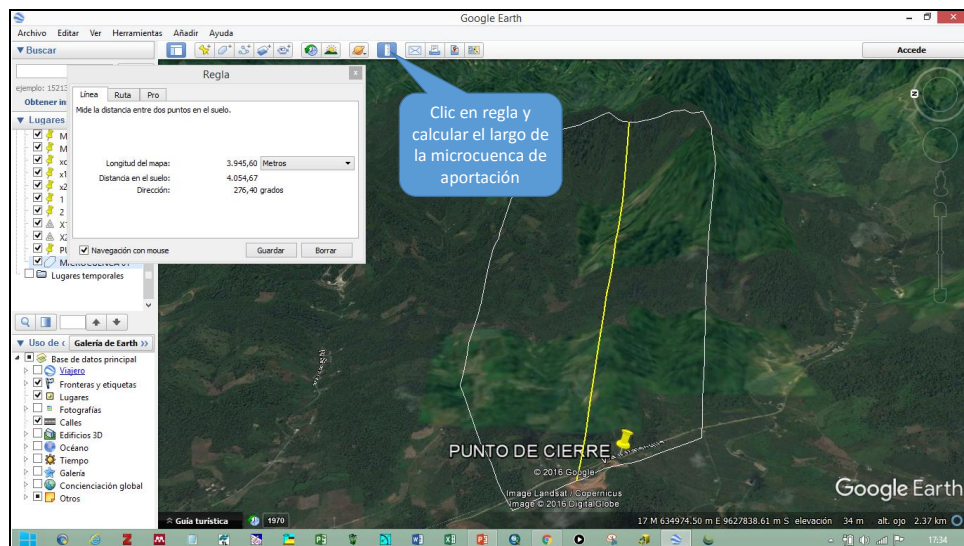
Diapositiva 14



Diapositiva 15



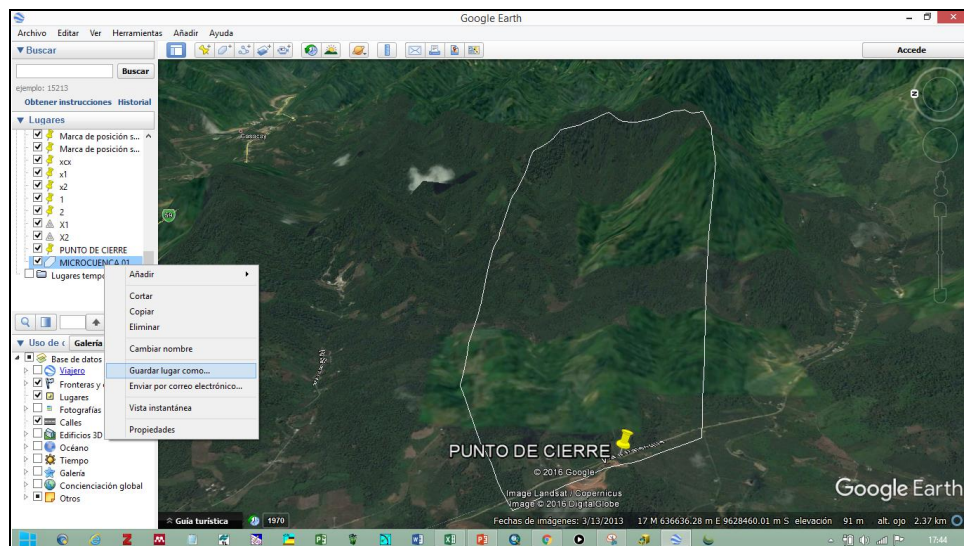
Diapositiva 16



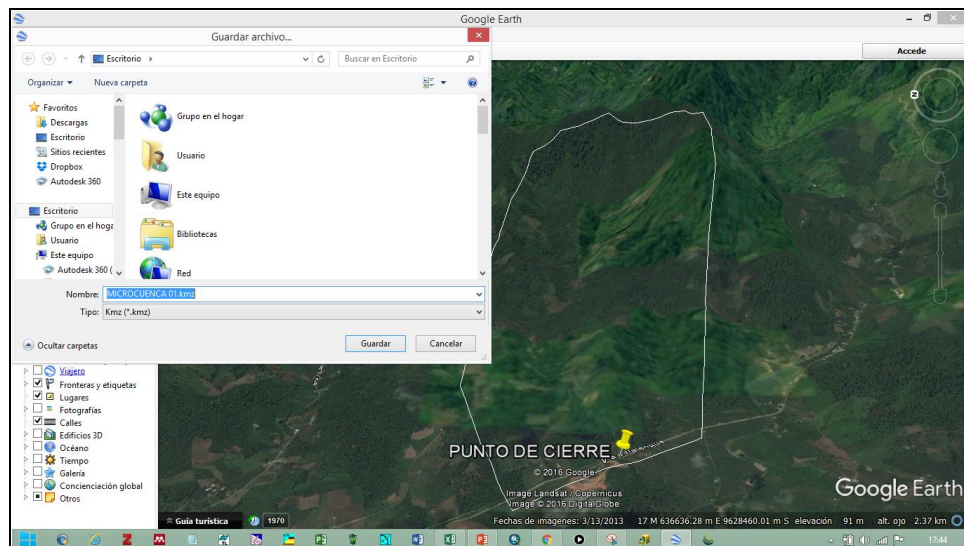
Diapositiva 17

ANCHO	1554.23	m
LARGO	3945.6	m
ÁREA	6132369.89	m^2
ÁREA	613.236989	Hect.

Diapositiva 18



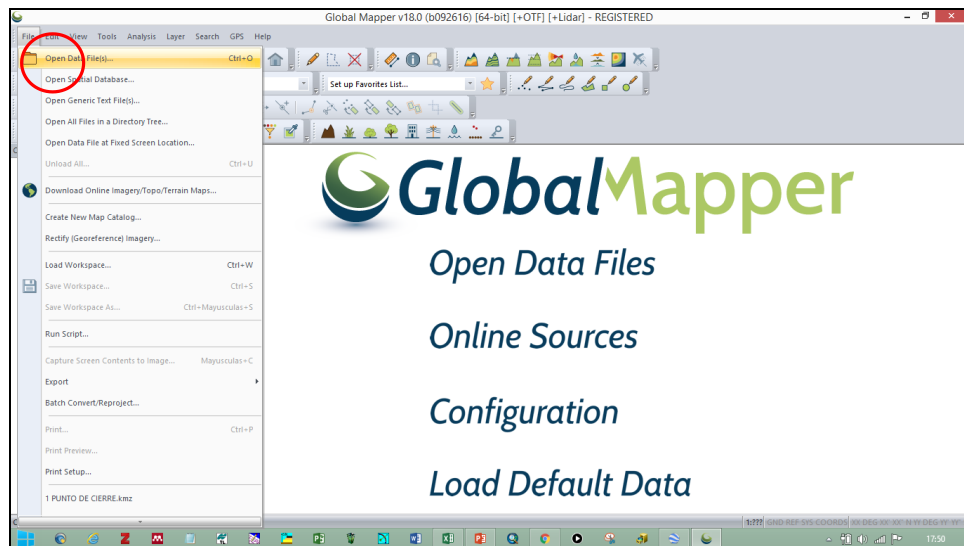
Diapositiva 19



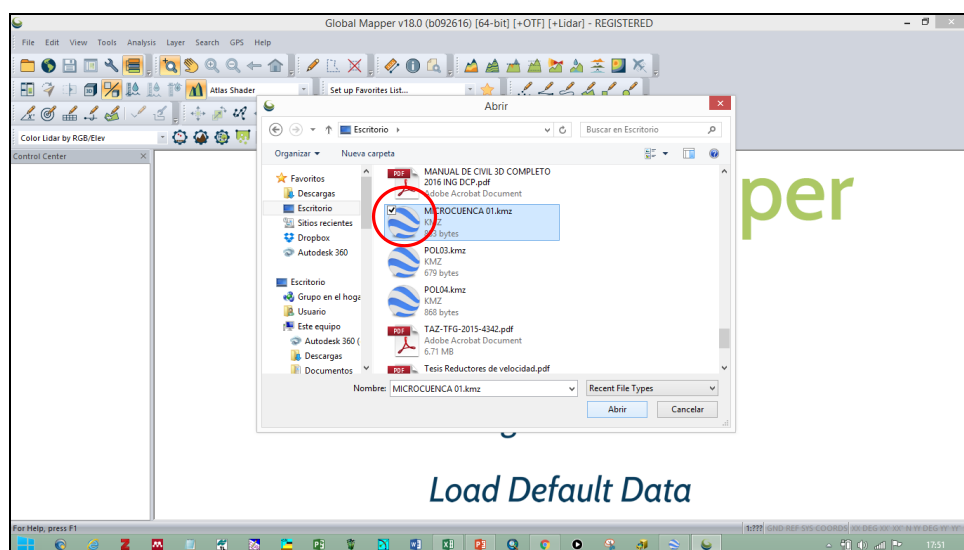
Diapositiva 20



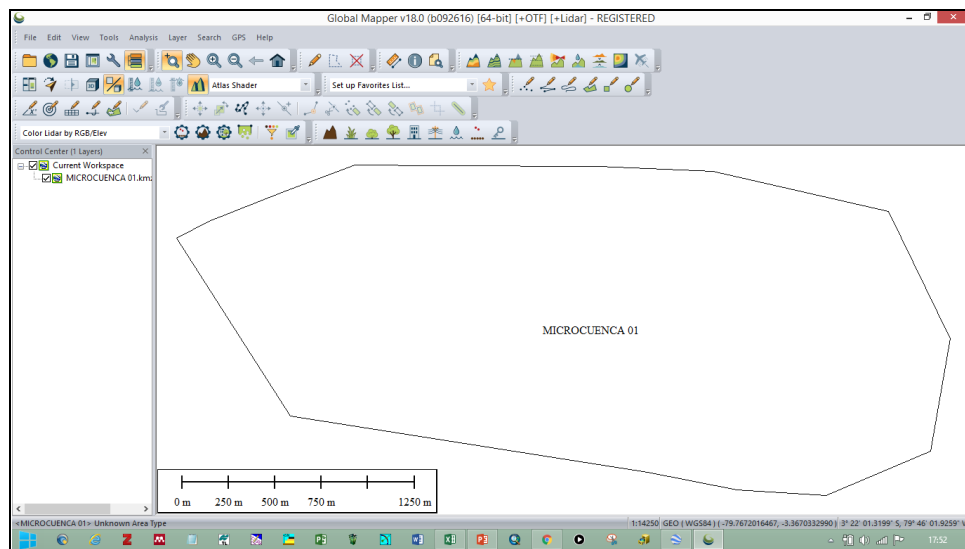
Diapositiva 21



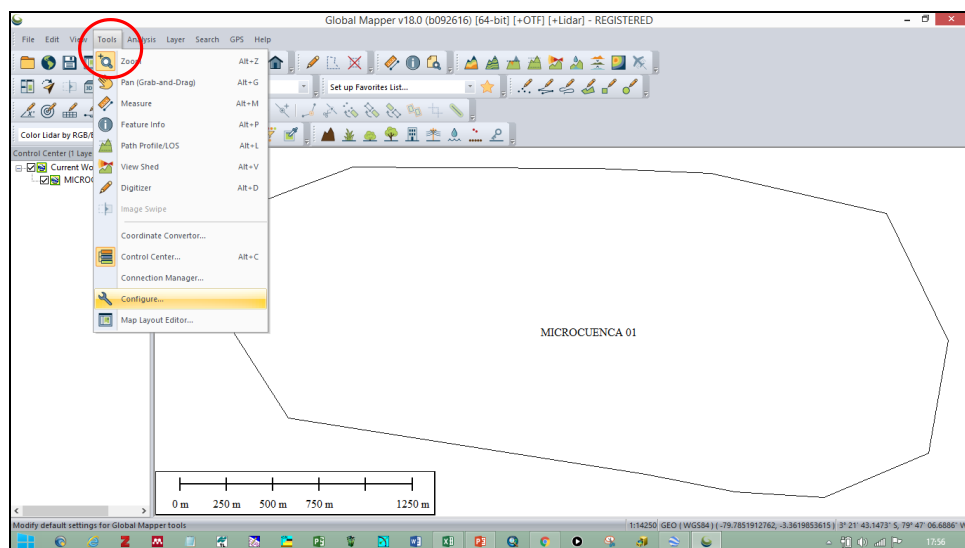
Diapositiva 22



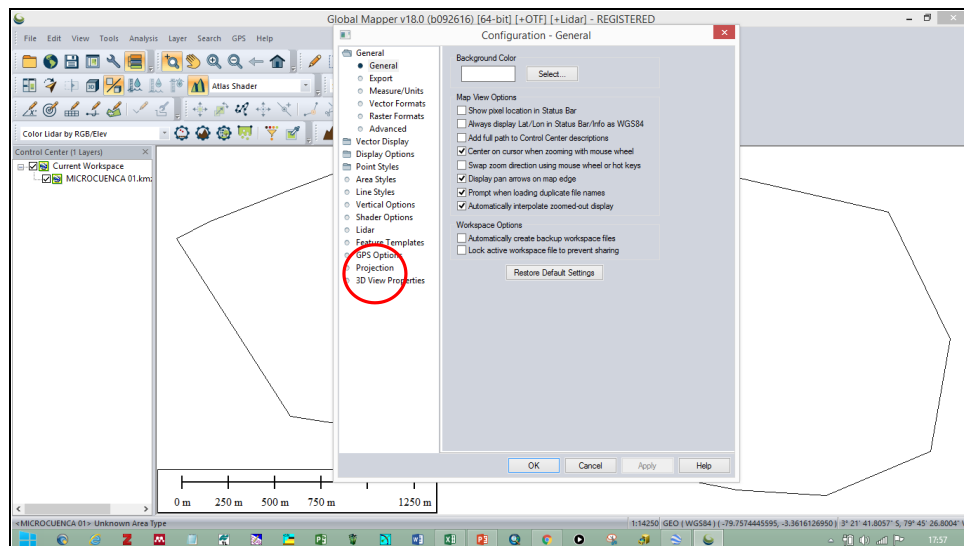
Diapositiva 23



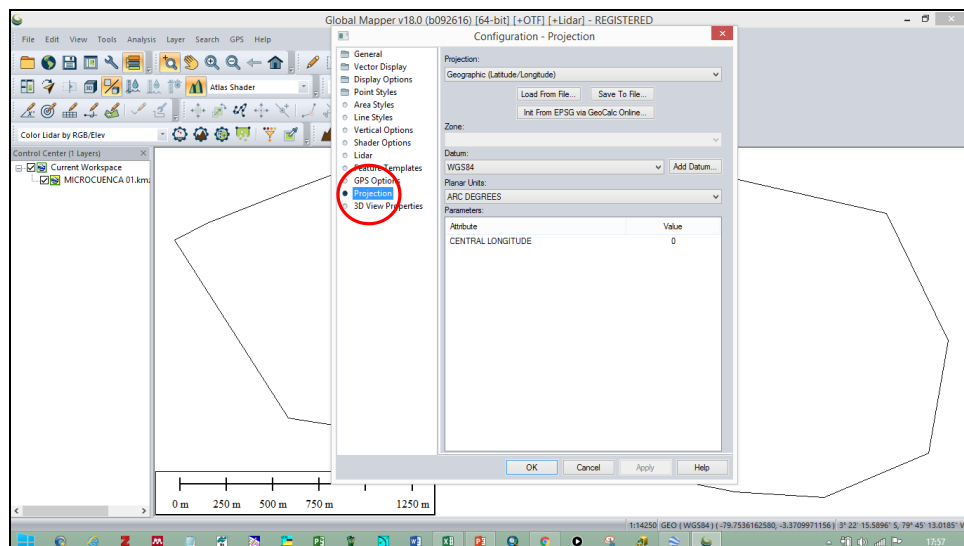
Diapositiva 24



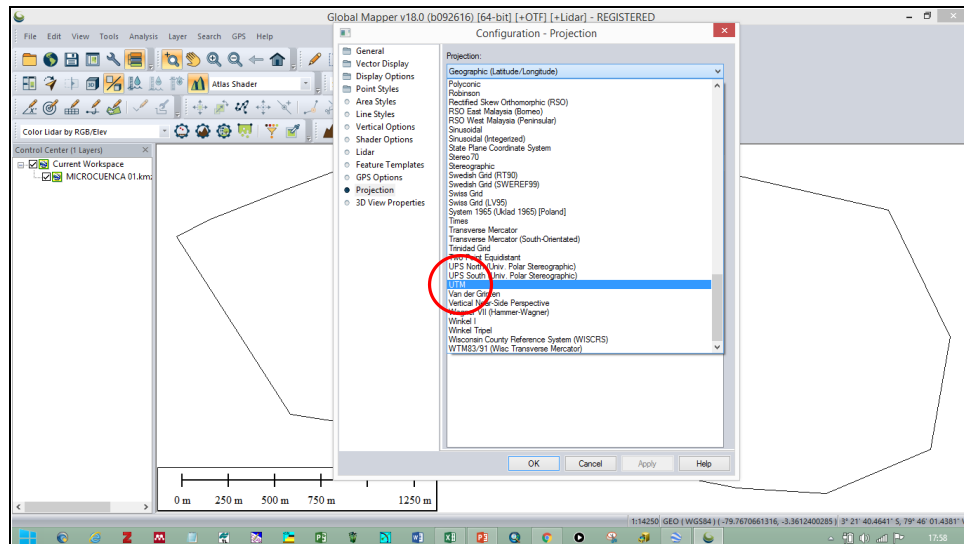
Diapositiva 25



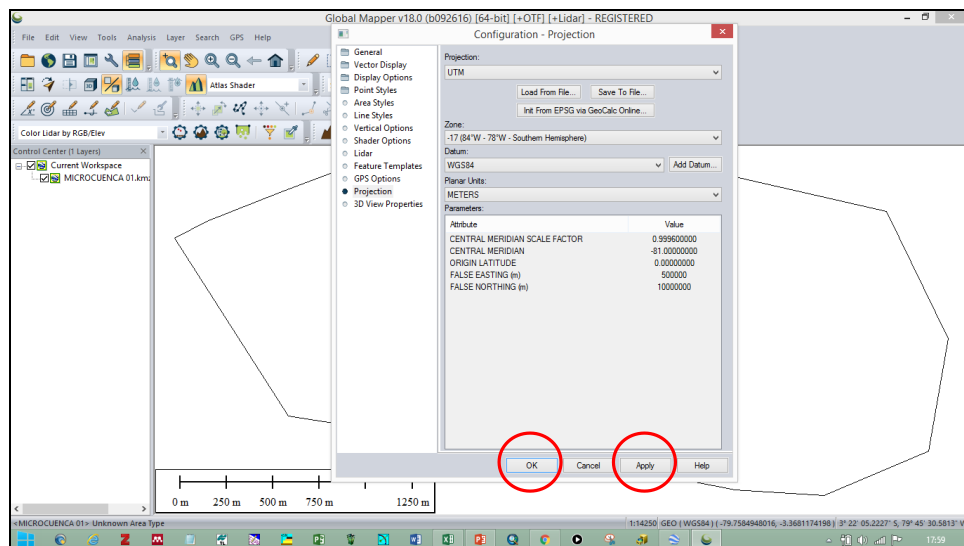
Diapositiva 26



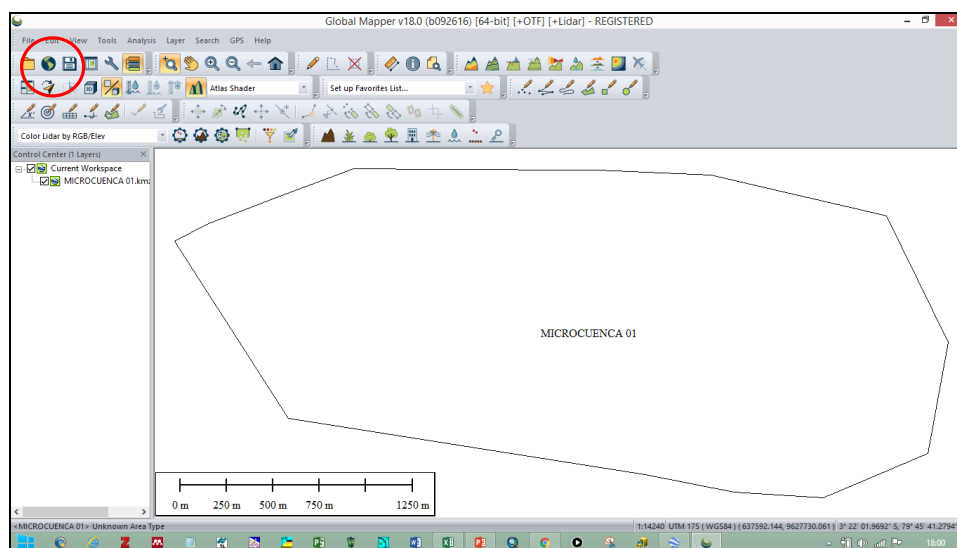
Diapositiva 27



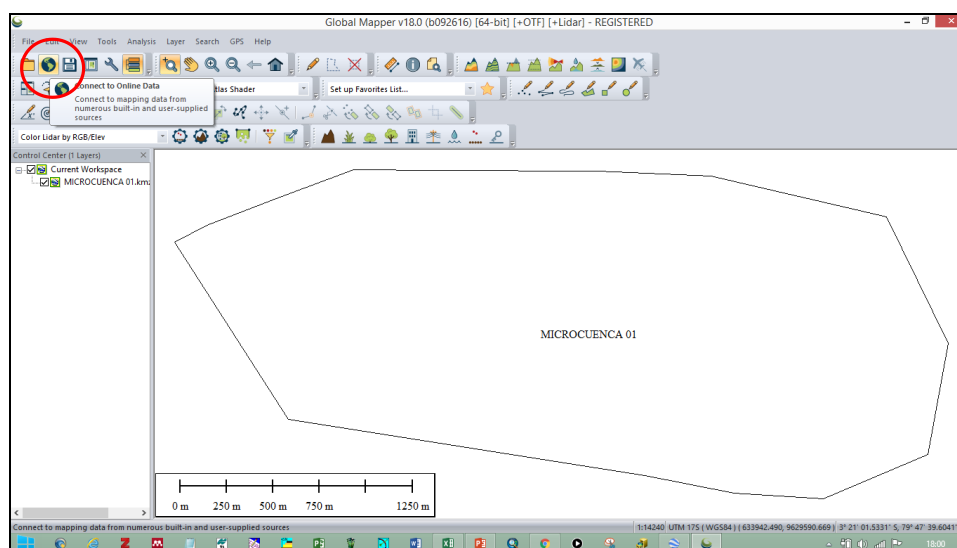
Diapositiva 28



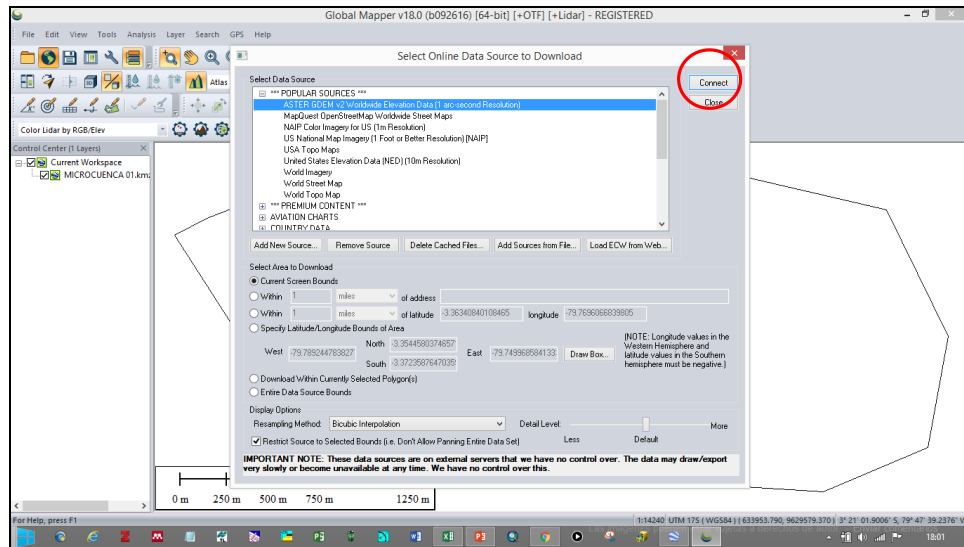
Diapositiva 29



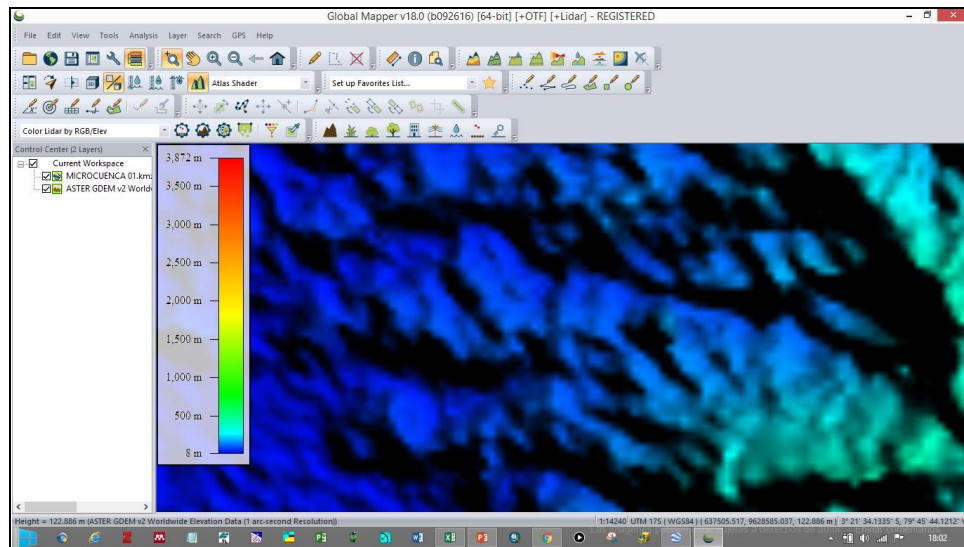
Diapositiva 30



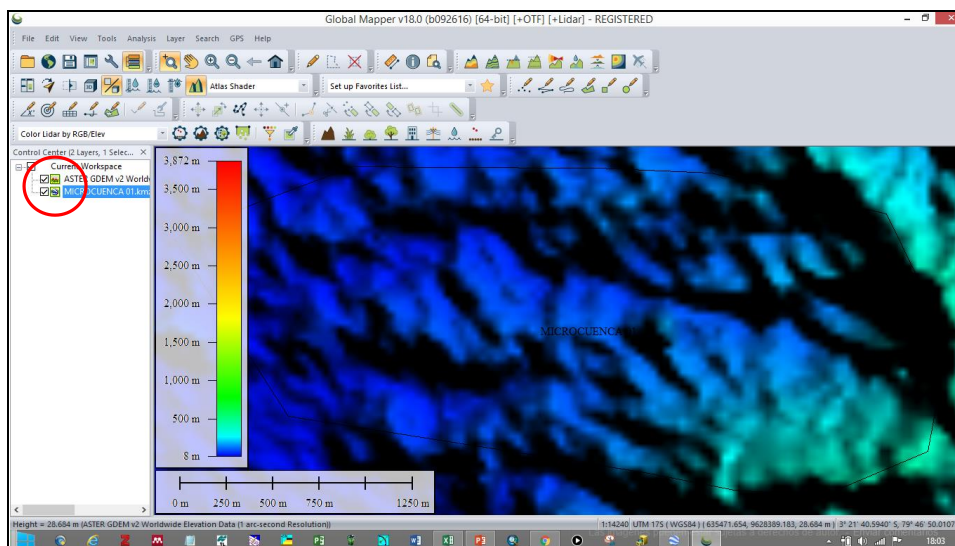
Diapositiva 31



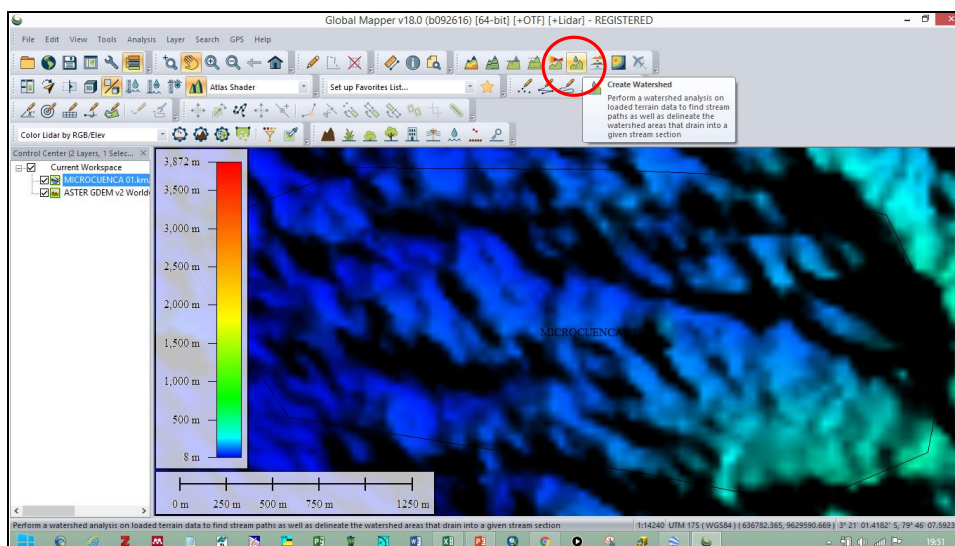
Diapositiva 32



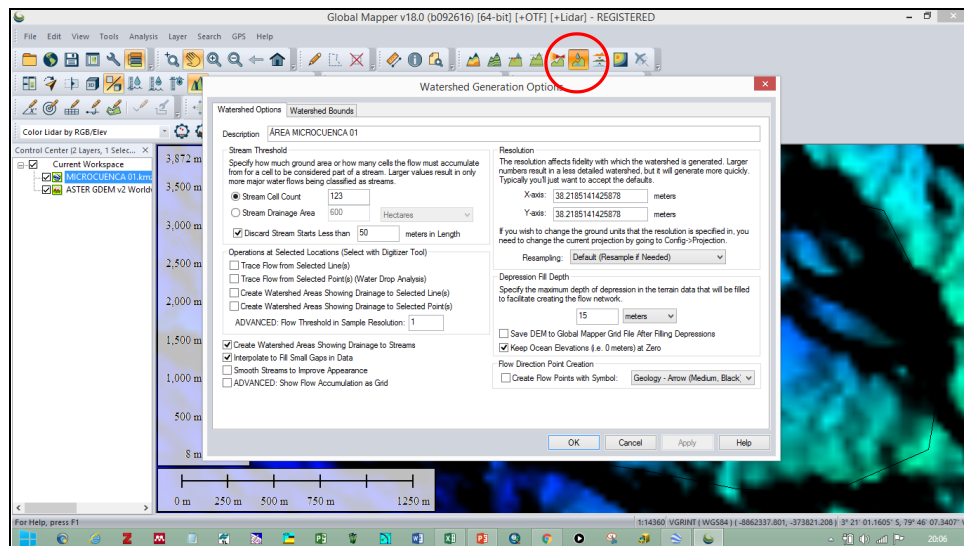
Diapositiva 33



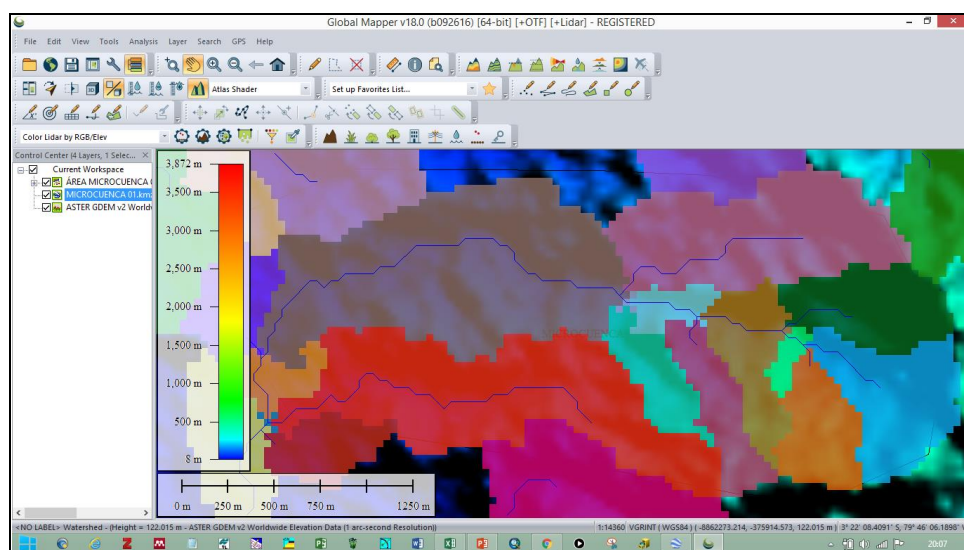
Diapositiva 34



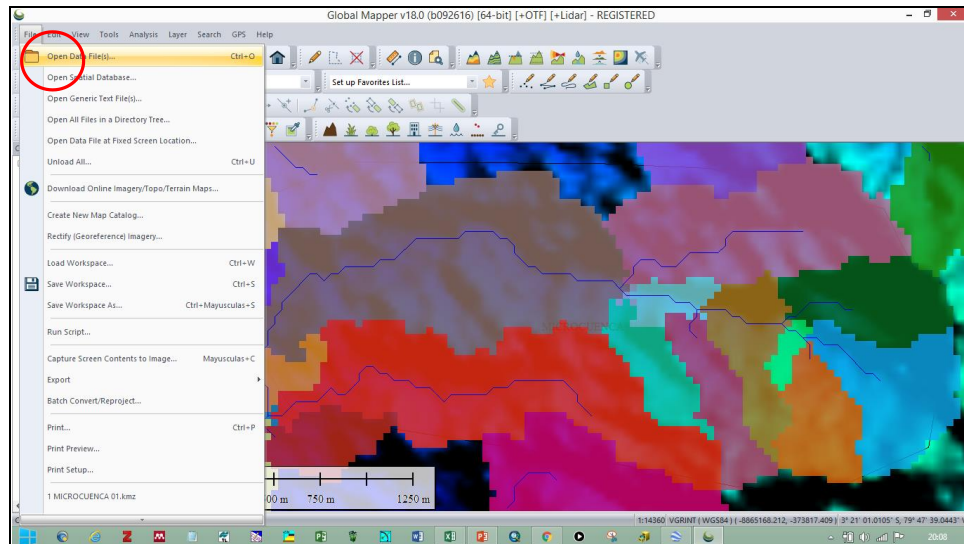
Diapositiva 35



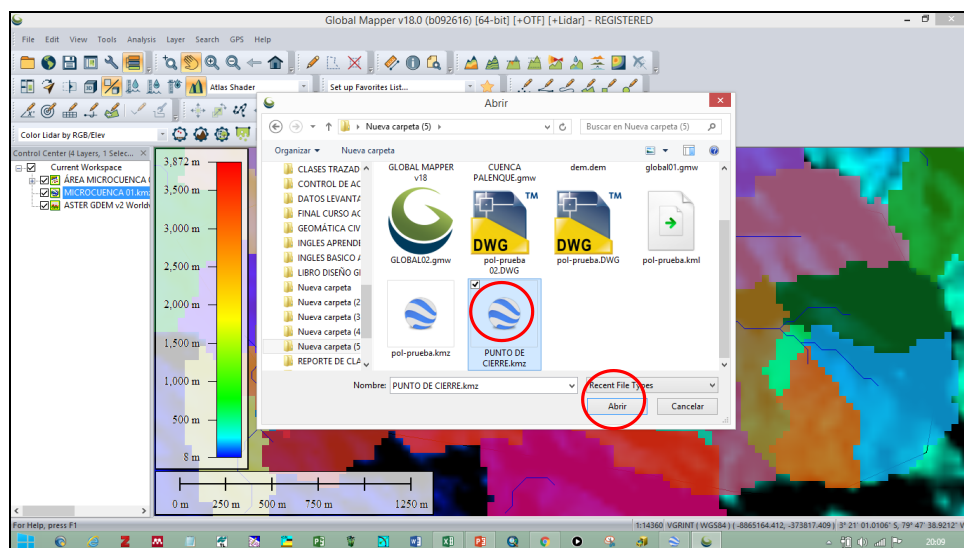
Diapositiva 36



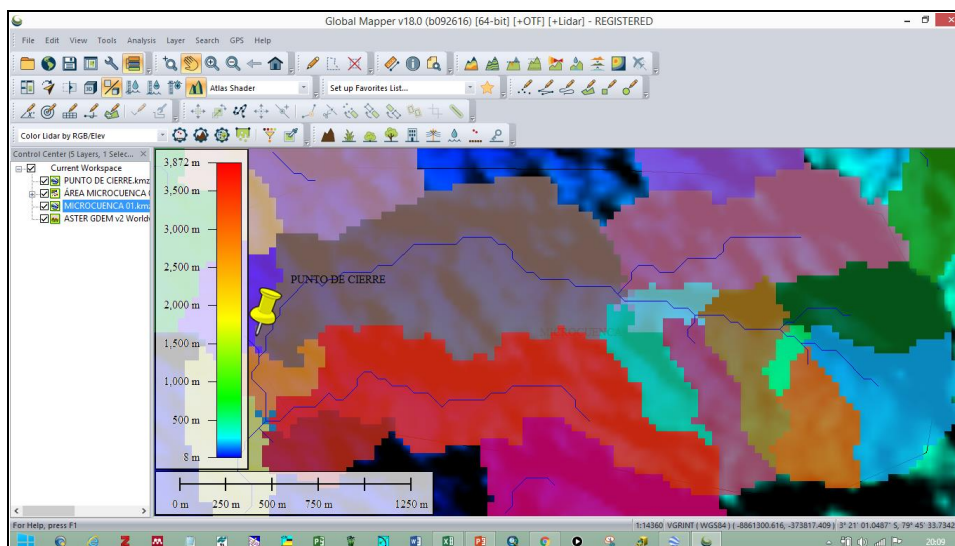
Diapositiva 37



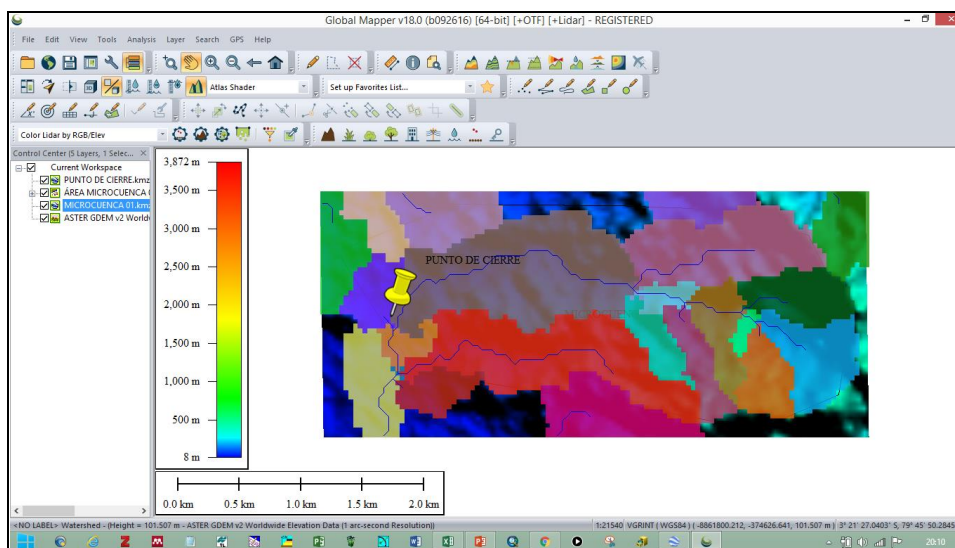
Diapositiva 38



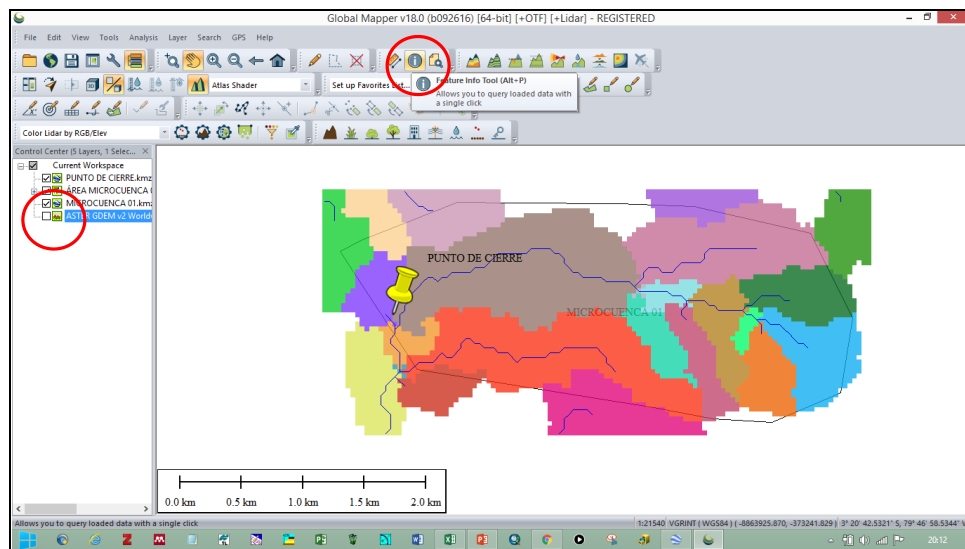
Diapositiva 39



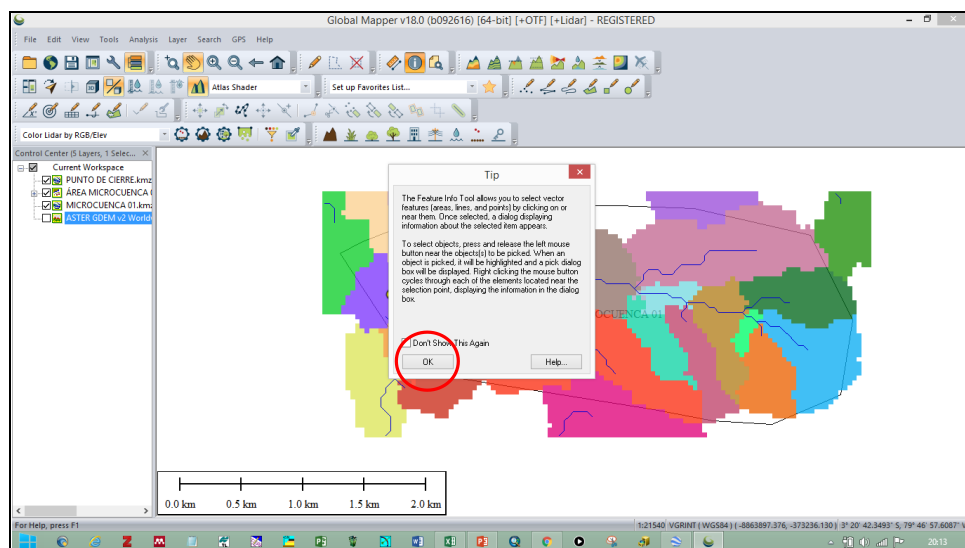
Diapositiva 40



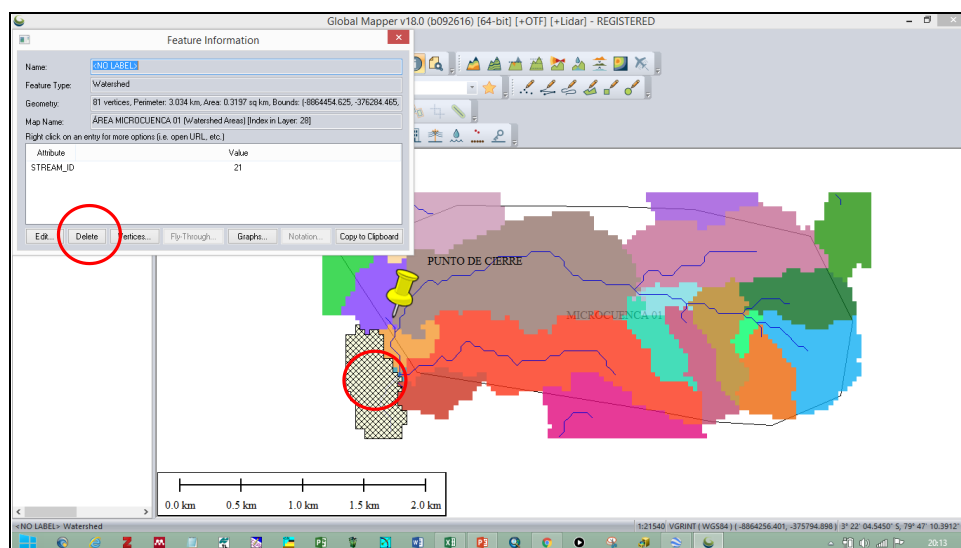
Diapositiva 41



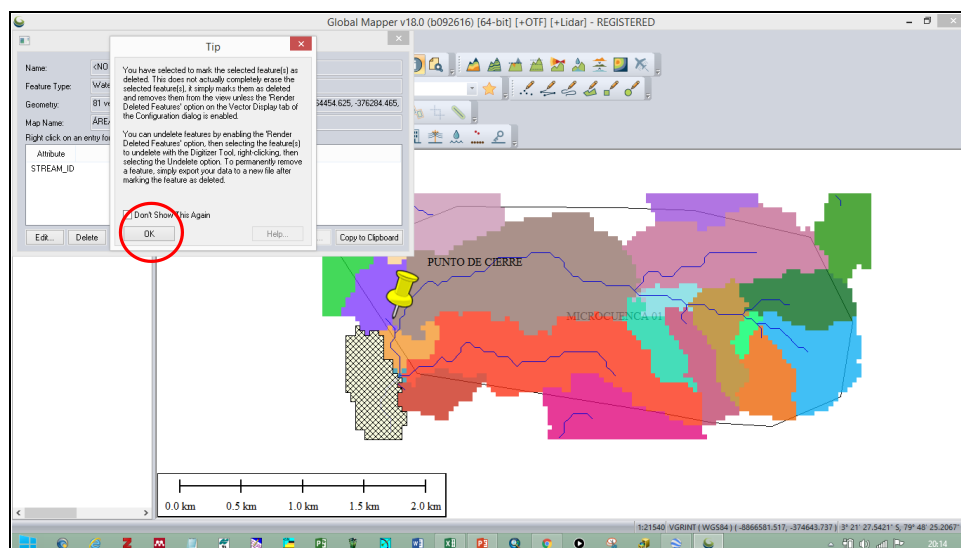
Diapositiva 42



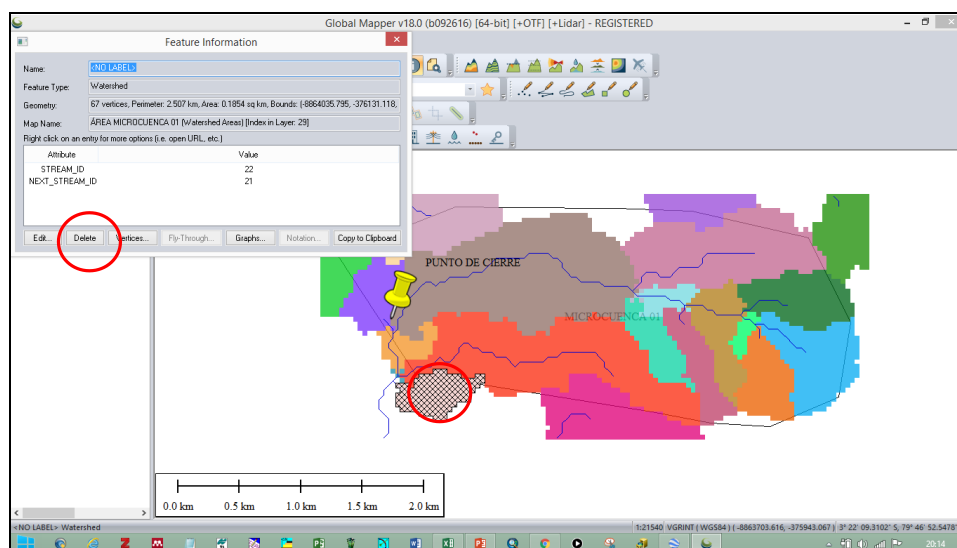
Diapositiva 43



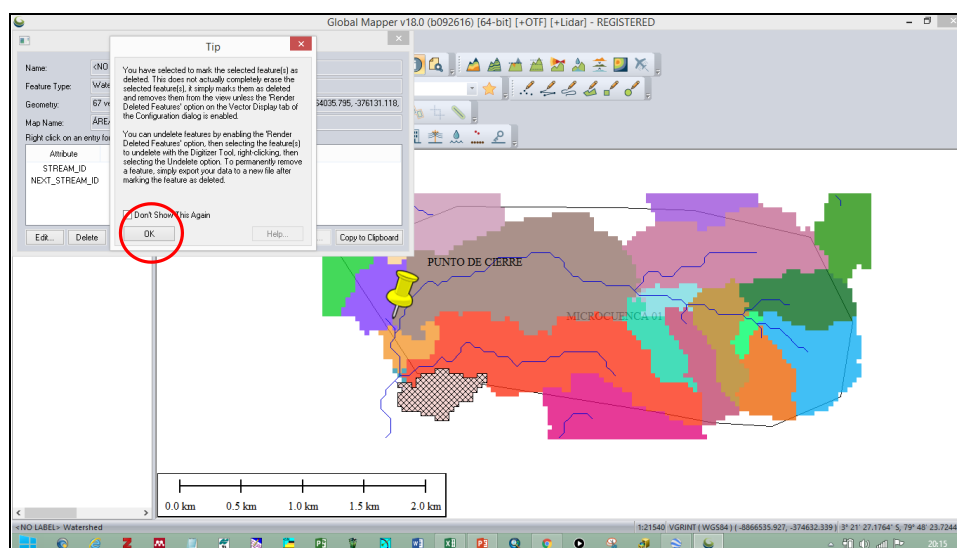
Diapositiva 44



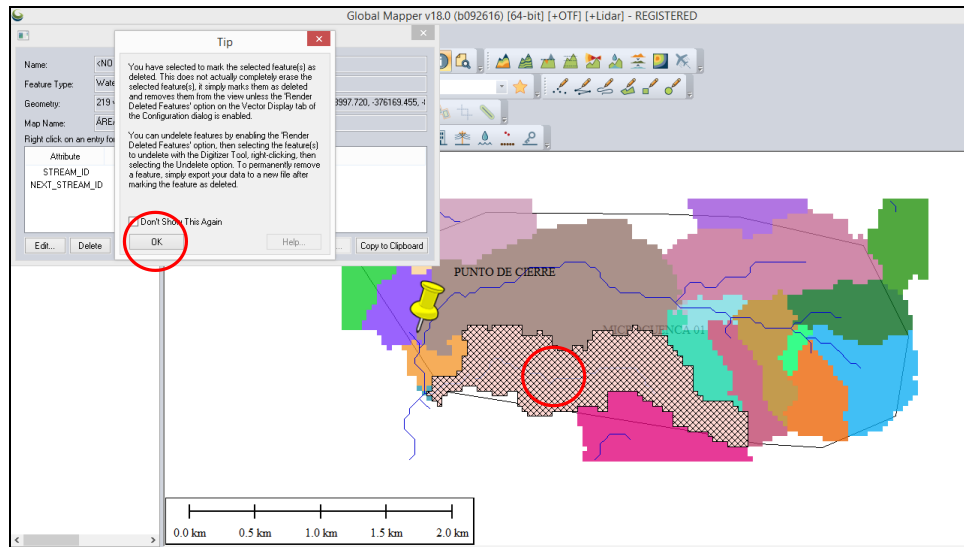
Diapositiva 45



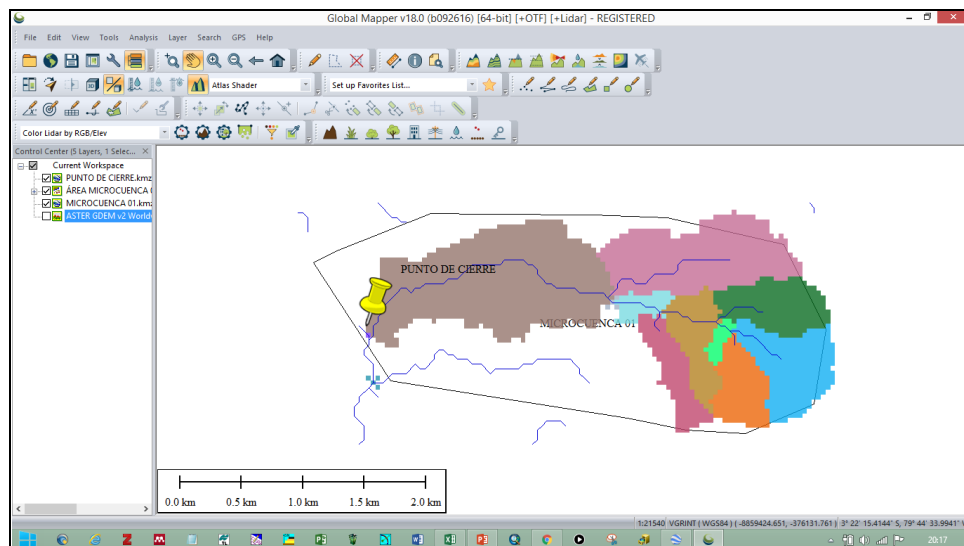
Diapositiva 46



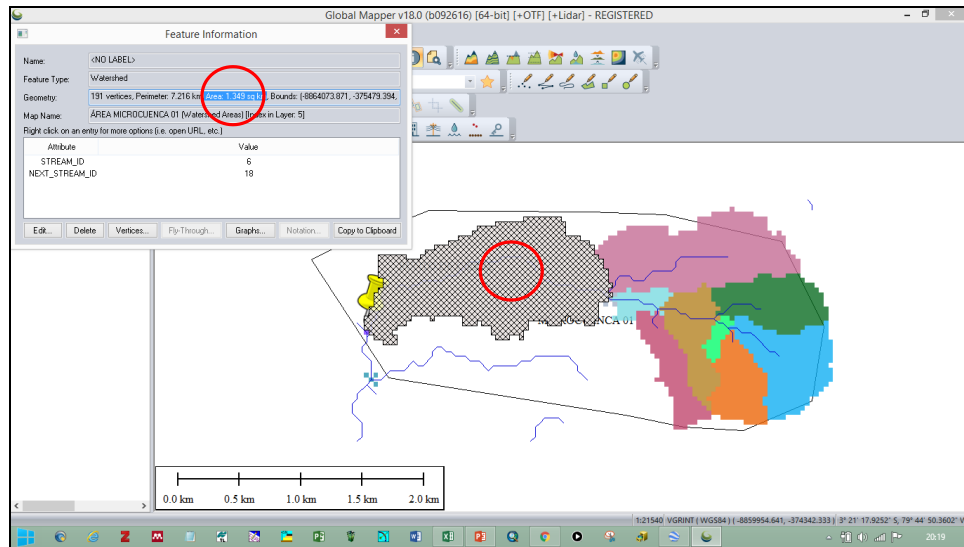
Diapositiva 47



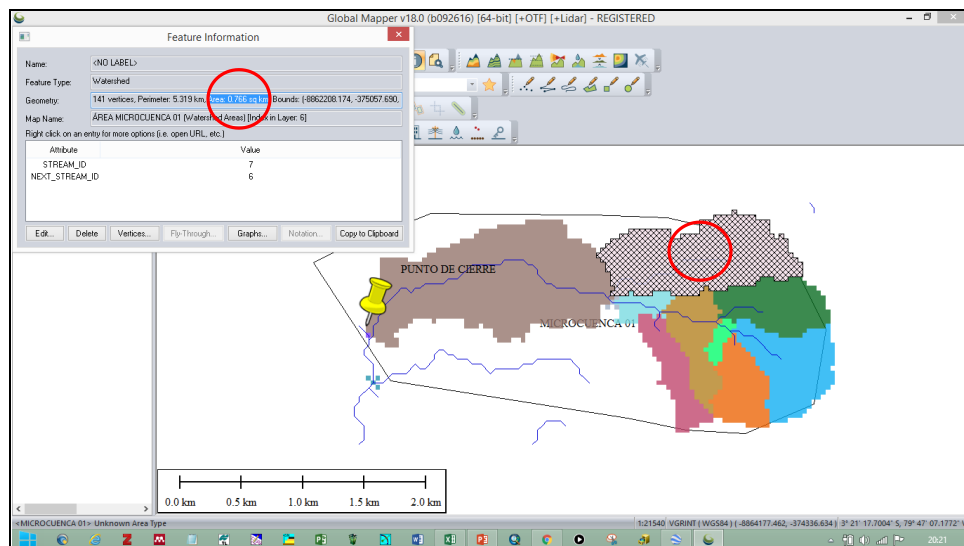
Diapositiva 48



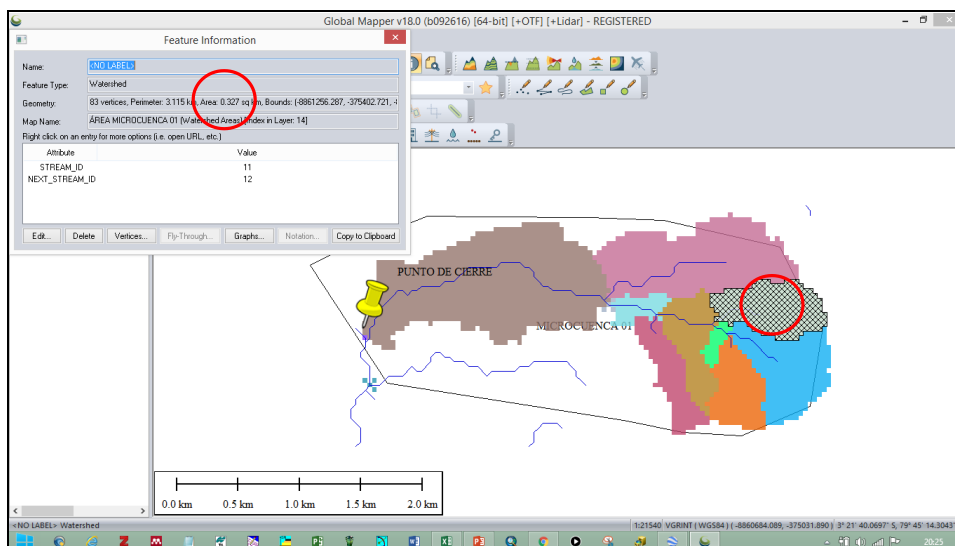
Diapositiva 49



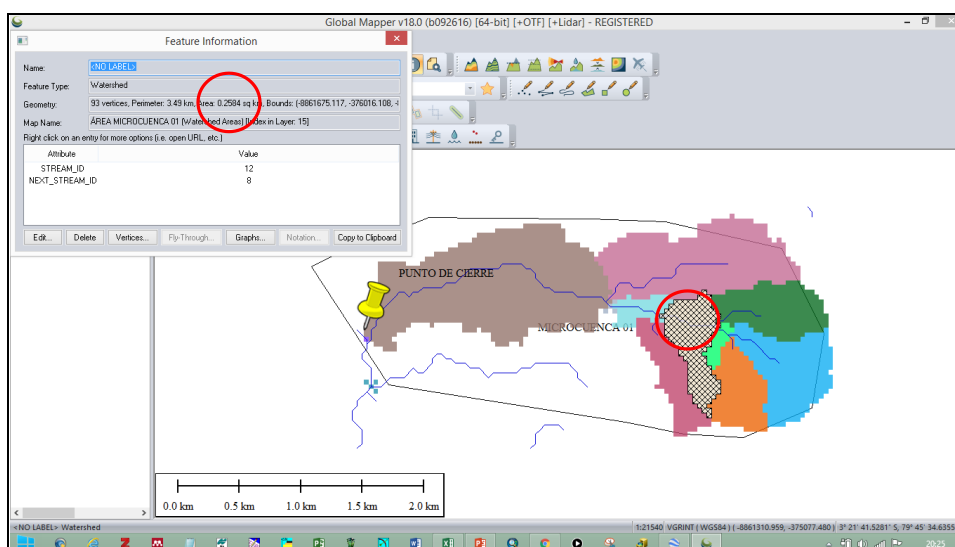
Diapositiva 50



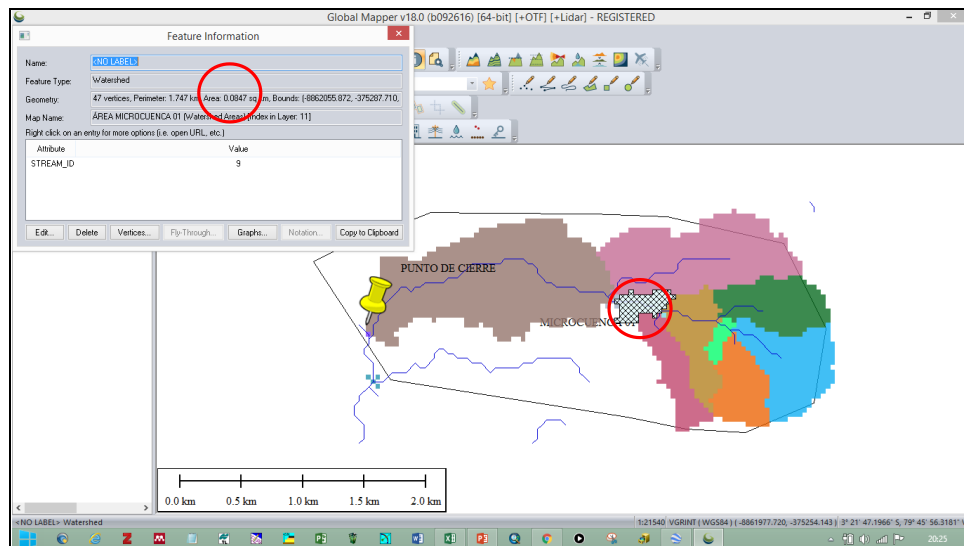
Diapositiva 51



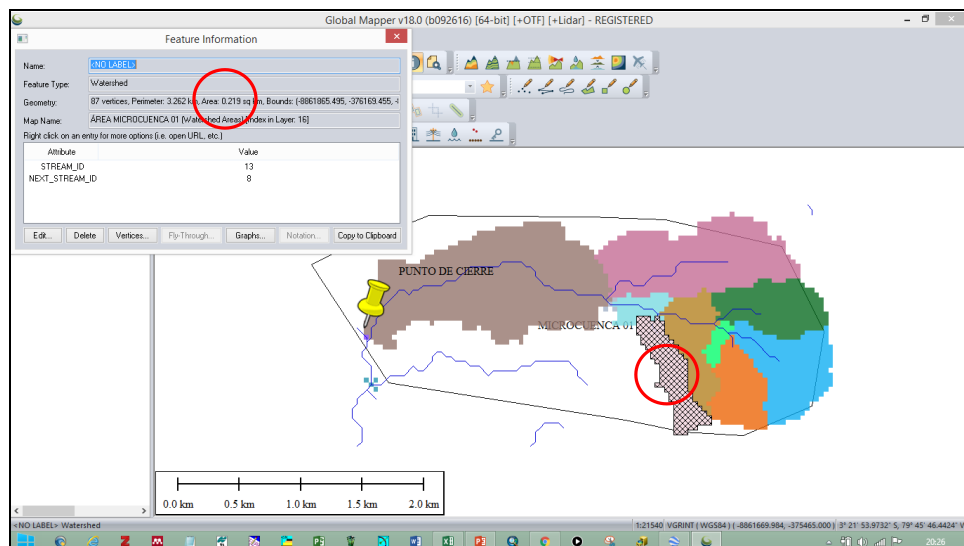
Diapositiva 52



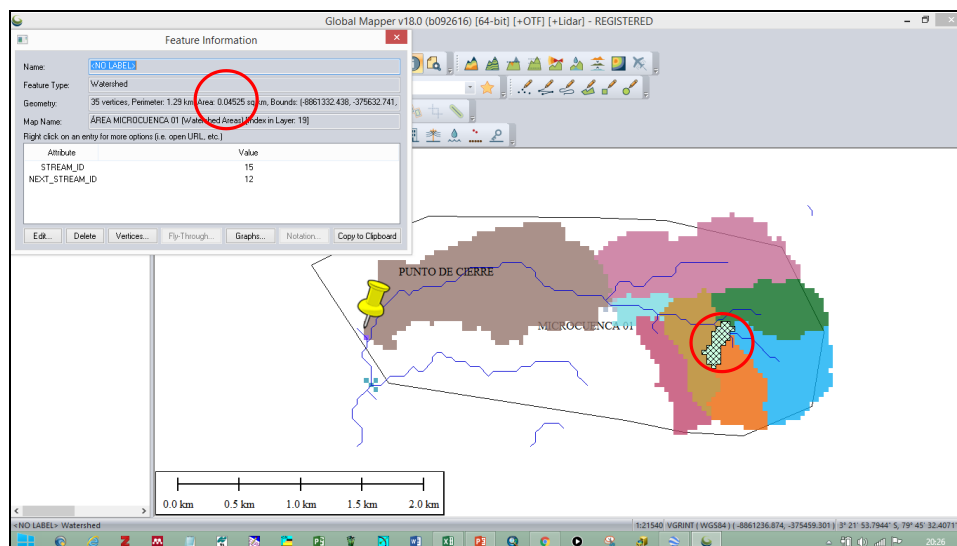
Diapositiva 53



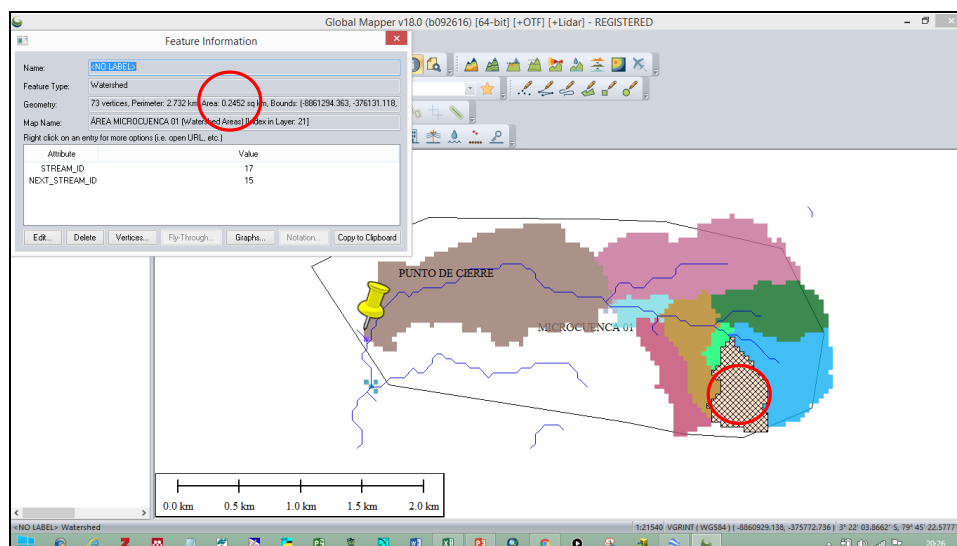
Diapositiva 54



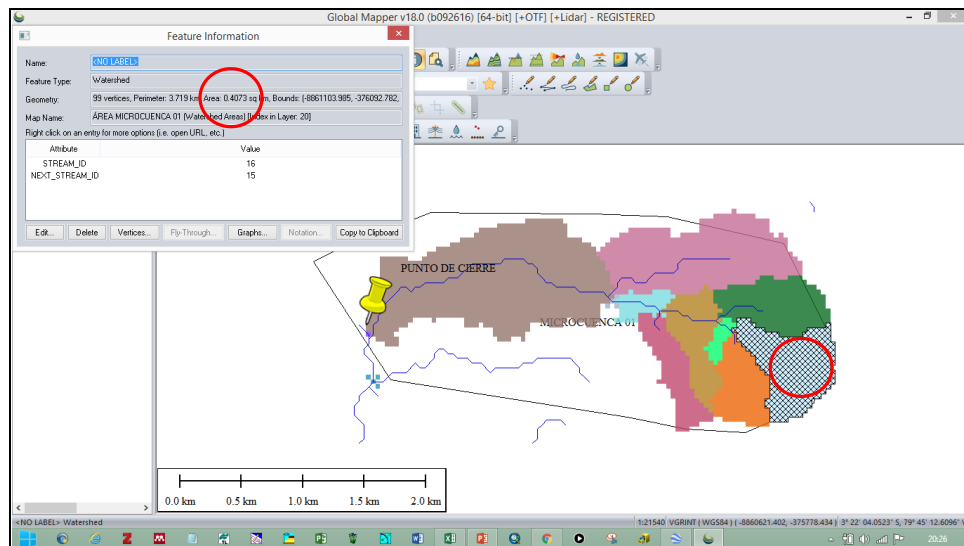
Diapositiva 55



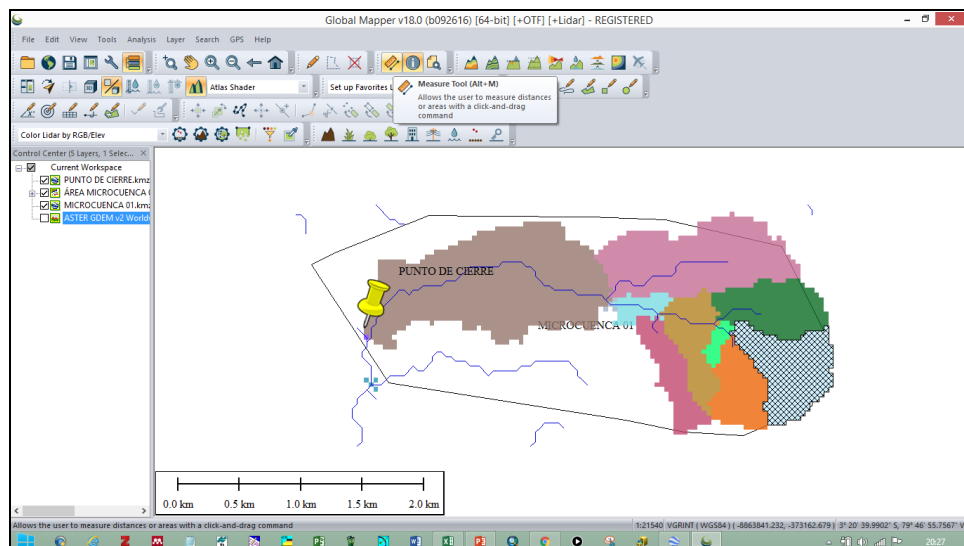
Diapositiva 56



Diapositiva 57



Diapositiva 58

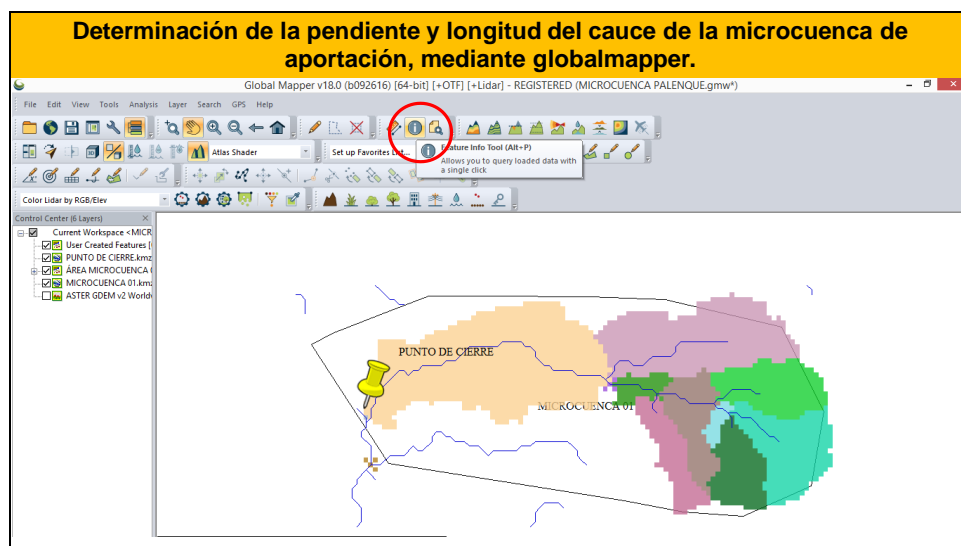


Diapositiva 59

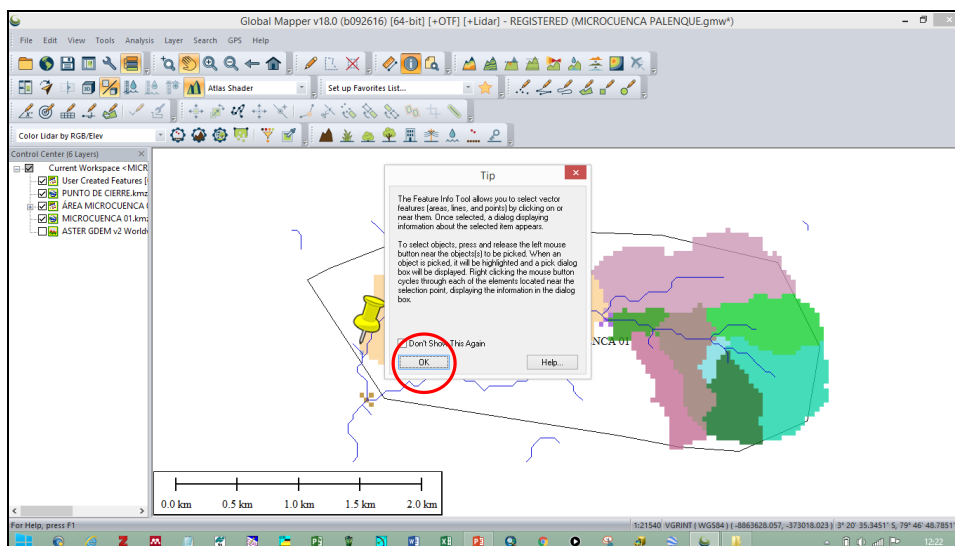
Sumatoria de áreas en la microcuenca de aportación			
ÁREA	1	1.349	Km ²
ÁREA	2	0.766	Km ²
ÁREA	3	0.0847	Km ²
ÁREA	4	0.2584	Km ²
ÁREA	5	0.327	Km ²
ÁREA	6	0.219	Km ²
ÁREA	7	0.04525	Km ²
ÁREA	8	0.2452	Km ²
ÁREA	9	0.4073	Km ²
ÁREA	Total	3.70185	Km ²
ÁREA	Total	370.185	Hectáreas

Utilizar el método modificado por Témez

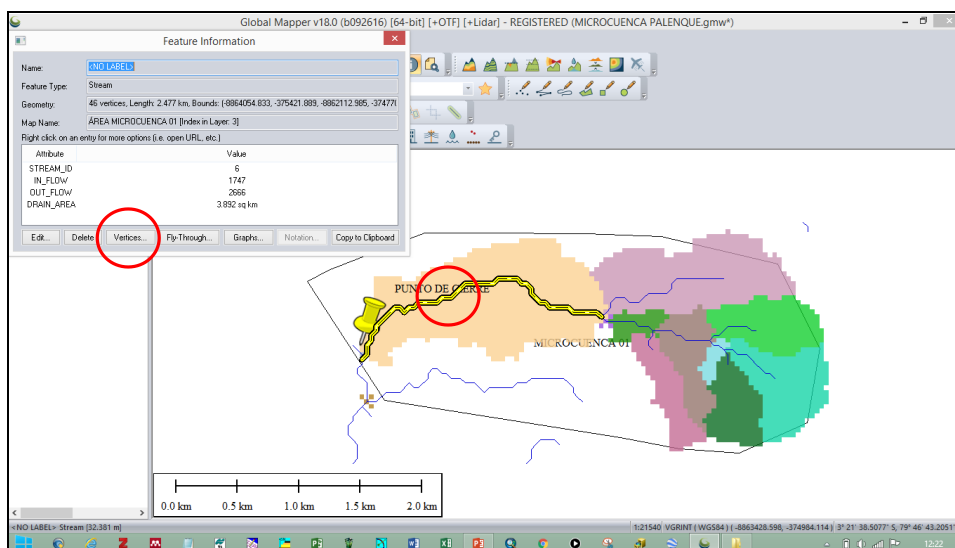
Diapositiva 60



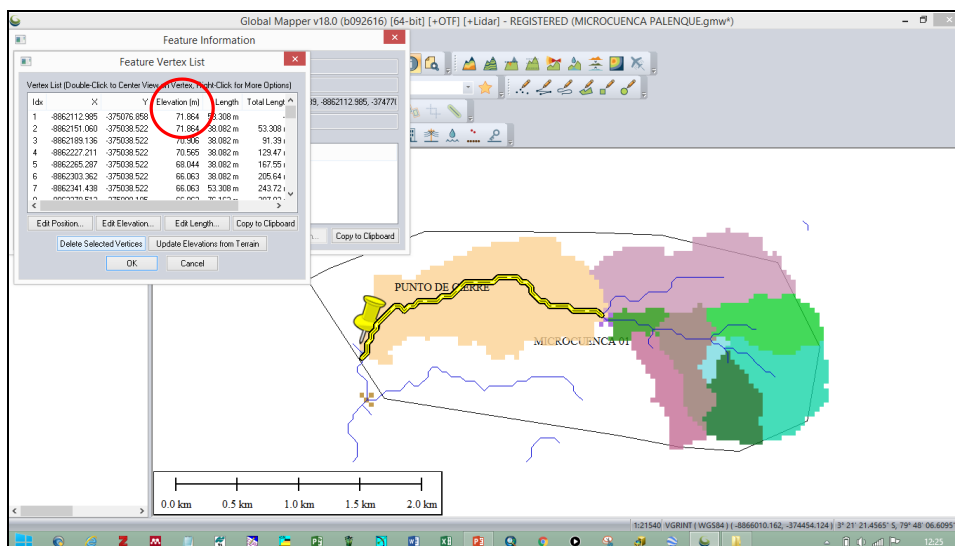
Diapositiva 61



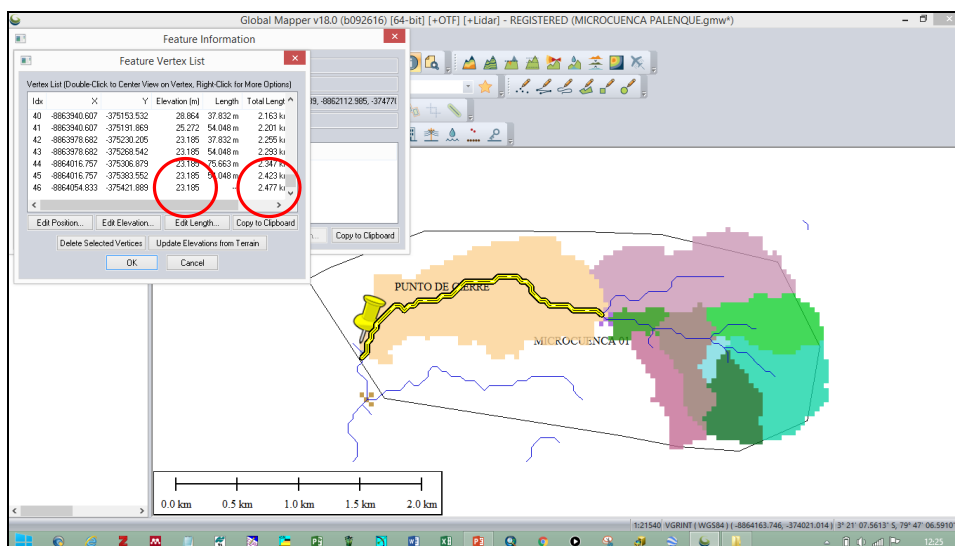
Diapositiva 62



Diapositiva 63



Diapositiva 64



Diapositiva 65

Longitud del cauce y calculo de la pendiente en la microcuenca de aportación

PENDIENTE PROMEDIO	
LONGITUD	2.477 Km
ELEVACIÓN	23.185 m
ELEVACIÓN	71.864 m
ΔY	48.679 m
S	0.0196524 m/m
S	1.96524021 %

Diapositiva 66

Determinar el caudal Q en m³/seg, por el método racional modificado por Témez

$$Q = (0.278) CIA * K \text{ (Área en Km}^2\text{)}$$

$$Q = (CIA/360) * K \text{ (Área en hectáreas)}$$

Determinar tipo de proyecto u obra y periodo de retorno (años)

Tipo de proyecto u obra	Periodo de retorno (años)
Drenaje Vial	50 a 100

Determinar las intensidades máximas en la estación para periodos entre 50 y 100 años y tiempos de concentración mediante Kirpich

$$T_c = 0.000323 \left[\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right]$$

Diapositiva 67

Q= 0.278 CIA (Área en Km2)

Donde:

- Q : Descarga máxima de diseño (m³/s)
- C : Coeficiente de escorrentía (Ver Tabla N° 08)
- I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
- A : Área de la cuenca (Km²).

TABLA N° 08: Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 9%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Semipermable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan el alineamiento de la carretera en estudio. En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía variarán según dichas características.

Diapositiva 68

Tiempos de concentración mediante Kirpich:

$$T_c = 0.000323 \left[\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right]$$

T_c= Tiempo de concentración en horas
L= longitud del cauce en metros
S= Pendiente del cauce en m/m

PENDIENTE PROMEDIO	
LONGITUD	2.477 Km
ELEVACIÓN	23.185 m
ELEVACIÓN	71.864 m
ΔY	48.679 m
S	0.0196524 m/m
S	1.96524021 %

$$T_c = 0.000323 \left[\frac{2477^{0.77}}{0.0196524^{0.385}} \right] = 0.602 \text{ hora} = 36.12 \text{ min}$$

Diapositiva 69

Determinar las intensidades máximas en la estación para periodos de retornos entre 50 y 100 años y tiempos de concentración de 36.12 minutos

Primero necesitamos, Intensidad diaria para cada periodo de retorno $I_{d_{TR}}$, registrada por la estación. (Tablas del INAMHI)

Tabla 01. Intensidades máximas en 24 horas estación Pasaje (Rodríguez, 1999)									
INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24 HORAS									
DETERMINADAS CON INFORMACIÓN PLUVIOGRAFICA									
PERIODO: 1964 - 1968									
CÓDIGO	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD (mts)	Tr (años)				
		LATITUD	LONGITUD		5	10	25	50	100
M-040	Pasaje	03°19'47''S	79°46'55''W	40	3.59	4.09	4.66	5.06	5.43

Diapositiva 70

Segundo necesitamos, las ecuaciones representativas de la estación pluviográfica. (Tablas del INAMHI)

Tabla 02. Ecuaciones representativas de las intensidades de la estación Pasaje (Rodríguez, 1999)			
INTENSIDADES MÁXIMAS			
ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS			
CÓDIGO	ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
		5 min < 120 min	$I_{TR} = 46.711 t^{-0.3539} I_{d_{TR}}$
M-040	PASAJE	120 min < 1440 min	$I_{TR} = 490.46 t^{-0.8462} I_{d_{TR}}$

Diapositiva 71

Tercero necesitamos, remplazar los valores de las intensidades y las duraciones.

Tabla 01. Intensidades máximas en 24 horas estación Pasaje (Rodríguez, 1999)									
INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24 HORAS									
DETERMINADAS CON INFORMACIÓN PLUVIOGRÁFICA									
PERIODO: 1964 - 1968									
CÓDIGO	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD (mts)	Tr (años)				
		LATITUD	LONGITUD		5	10	25	50	100
M-040	Pasaje	03°19'47''S	79°46'55''W	40	3.59	4.09	4.66	5.06	5.43

Tabla 02. Ecuaciones representativas de las intensidades de la estación Pasaje (Rodríguez, 1999)			
INTENSIDADES MÁXIMAS			
ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS			
CÓDIGO	ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
		5 min < 120 min	$I_{TR} = 46.711 t^{-0.3539} I_{d_{TR}}$
M-040	PASAJE	120 min < 1440 min	$I_{TR} = 490.46 t^{-0.8462} I_{d_{TR}}$

Diapositiva 72

Para $t = 36.12$ min y un T_R de 50 años, la intensidad I_{TR} es de:

$$I_{TR} = 46.711 t^{-0.3539} I_{d_{TR}} = 46.711 \times 36.12^{-0.3539} \times 5.06 = 66.42 \text{ mm/hora}$$

Para $t = 36.12$ min y un T_R de 100 años, la intensidad I_{TR} es de:

$$I_{TR} = 46.711 t^{-0.3539} I_{d_{TR}} = 46.711 \times 36.12^{-0.3539} \times 5.43 = 71.27 \text{ mm/hora}$$

Cuarto necesitamos, calcular el coeficiente de uniformidad K

$$K = 1 + [(Tc^{1.25}) / (Tc^{1.25} + 14)]$$

$$K = 1 + [(0.602^{1.25}) / (0.602^{1.25} + 14)] = 1.03649$$

Diapositiva 73

Determinar el caudal Q en m3/seg, por el método racional modificado por Témez

$Q = (0.278 \text{ CIA}) * K \text{ (Área en Km}^2\text{)}$
 $Q = 0.278 \times 0.50 \times 71.27 \times 3.7 \times 1.03649$
 $Q = 37.99 \text{ m}^3/\text{seg}$

Donde:
Q : Descarga máxima de diseño (m³/s)
C : Coeficiente de escorrentía (Ver Tabla N° 08)
I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A : Área de la cuenca (Km²).

TABLA N° 08: Coeficientes de escorrentía método racional

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Baja	Despreciable
Sin vegetación	Impermeable	> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
	Semipermable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Permeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
	Permeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
Pastos, vegetación ligera	Semipermable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15

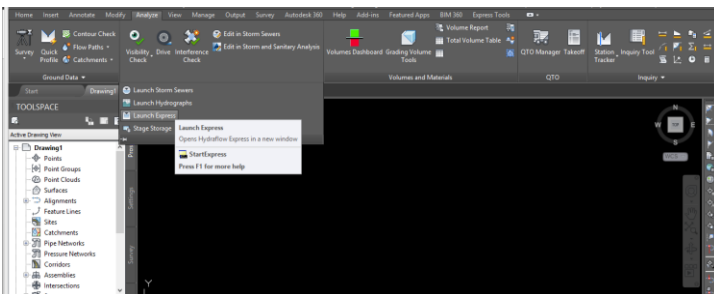
$Q = [CIA/360] * K \text{ (Área en hectáreas)}$
 $Q = [(0.50 \times 71.27 \times 370.19)/360] * K$
 $Q = 37.98 \text{ m}^3/\text{seg}$

ÁREA		
ÁREA	1	1.349 Km²
ÁREA	2	0.766 Km²
ÁREA	3	0.0847 Km²
ÁREA	4	0.2584 Km²
ÁREA	5	0.327 Km²
ÁREA	6	0.219 Km²
ÁREA	7	0.04525 Km²
ÁREA	8	0.2452 Km²
ÁREA	9	0.4073 Km²
ÁREA	Total	3.70185 Km²
ÁREA	Total	370.185 Hectáreas

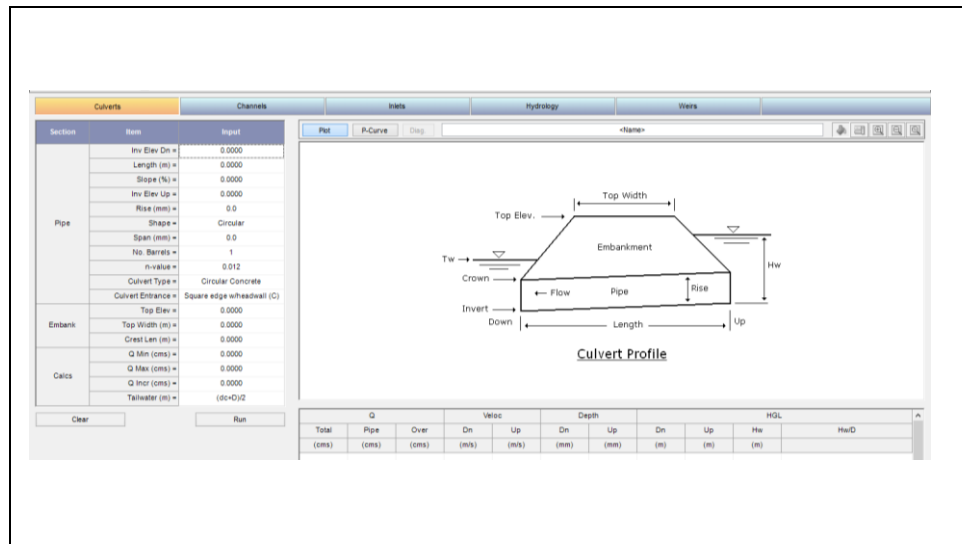
Diapositiva 74

Modelación mediante Hydraflow Express

En la pestaña “Analyze & Desing”, se muestra un menú desplegable, del cual la opción “Launch Express” muestra la aplicación de Hydroflow Express, En la Opción “Culvert” , se procedió a asignar los datos obtenidos en los cálculos anteriores: cota de partida de 23.19 msnm, ancho de drenaje transversal de 20 metros, pendiente de 1.96524%, elevación aguas arriba del tubo.



Diapositiva 75



Diapositiva 76

Ingreso de datos al Hydraflow Express		
Sección	Item	Ingreso de datos
Tubería	Extremo aguas abajo alcantarilla	23.1900
	Longitud (m)	20.0000
	Pendiente (%)	1.9555
	Extremo aguas arriba alcantarilla	23.5831
	Altura (mm)	1500.0
	Forma	Circular
	No. Tubos	4
	Coefficiente de Manning	0.013
	Forma geométrica de la alcantarilla	Concreto circular
	Entrada a la alcantarilla	Borde cuadrado
Terraplén	Cota superior terraplén (rasante)	25.3400
	Ancho carriles (3.65 m) + berma (1.20 m)	9.7000
	Longitud de la cresta vertedero	6.0000
Caudales	Caudal mínimo (m3)	0.0000
	Caudal máximo (m3)	37.99
	Incremento de caudal (m3)	1.0000
	Nivel hidráulico	crítico

Diapositiva 77

Modelación en Hydraflow Express, para la estimación del tipo de drenaje transversal.

